
This is the **published version** of the article:

Hernández Rodríguez, María Isabel; Pintó, R. Estudi de les concepcions dels estudiants de secundària sobre l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials. 2008. 67 pàg.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/150347>

under the terms of the  license

Estudi de les concepcions dels estudiants de secundària sobre l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials

Autora del Treball de Recerca: **M^a Isabel Hernández Rodríguez**

Directora del Treball de Recerca: **Roser Pintó Casulleras**

SETEMBRE 2008

Màster en Recerca en Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències



Departament de Didàctica de la
Matemàtica i de les Ciències
Experimentals



Centre de Recerca per a l'Educació
Científica i Matemàtica

If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: “The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly”

(Ausubel 1968, epigraph)

Índex

1. Presentació	1
2. El problema de recerca	2
2.1. Presentació del problema en el seu context	2
2.2. Justificació de la recerca	3
2.2.1. Antecedents teòrics	3
2.2.2. Importància en el context	4
2.2.3. Motivacions personals	4
3. Marc teòric	6
3.1. Perspectives sobre aprenentatge de les ciències	6
3.2. Concepcions dels estudiants entorn del concepte del so	10
3.3. Seqüències d'ensenyament i aprenentatge	13
4. Concreció del problema: objectius i qüestions de recerca	16
4.1. Definició i constructes	16
4.2. Objectius de la recerca	17
4.3. Qüestions de recerca	17
4.4. Limitacions de l'estudi	17
5. Disseny experimental	19
5.1. Disseny experimental	19
5.2. La població de l'estudi	23
5.3. Instruments i estratègies	23
5.3.1. Instruments i estratègies utilitzats	23
5.3.2. El procés cap als instruments i estratègies	23
5.3.3. Validesa i fiabilitat	24
5.4. Recollida de dades	24
5.5. Validesa i fiabilitat del disseny	24
6. Anàlisi de dades, resultats i discussió	26
6.1. Procés d'anàlisi	26
6.2. Resultats i discussió	28
7. Conclusions, prospectiva i implicacions didàctiques	39
7.1. Conclusions	39
7.2. Prospectiva	40
7.3. Implicacions didàctiques	41
8. Bibliografia	43
9. Annexos	45
Annex 1	45
Annex 2	56
Annex 3	60
Annex 4	61
Annex 5	62
Annex 6	65
Annex 7	66
10. Índexs diversos	67

1. Presentació

Estem envoltats de sons: el cant dels ocells, les nostres pròpies veus, el murmur del vent en els arbres, el soroll dels cotxes al carrer, les onades del mar arribant a la platja. No obstant, podem reconèixer quins d'aquests sons i sorolls ens resulten agradables i quins preferiríem evitar. És doncs natural que també existeixi la necessitat del silenci. Com podem evitar molts dels sons que ens arriben? Davant de la problemàtica de la contaminació acústica, les noves tecnologies busquen maneres de controlar aquests sorolls que ens molesten. En efecte, l'acústica té cada vegada una importància més decisiva des del punt de vista social: influeix en aspectes essencials de la qualitat de vida dels éssers humans, de la cultura musical i, fins i tot, en el coneixement fisiològic del propi cos.

Degut a que el so és completament present en les nostres vides, aquest tema mereix la nostra atenció. Com diuen Eshach i Schwartz (2006, p.734), *“si un dels objectius de l'educació científica és millorar l'aprenentatge dels estudiants sobre el seu propi món i sobre el “coneixement útil”, llavors el tema del so hauria de ser una component essencial del currículum de ciències”*. Si es pretén que els estudiants entenguin qüestions teòriques i pràctiques, com per què és perillós escoltar música molt alta o com solucionar un problema d'insonorització, això requereix uns fonaments fermes en els conceptes de la física relacionats amb el so.

Com a tema emmarcat dins de la física, el so s'estudia típicament en diferents nivells educatius com a exemple clar de fenomen ondulatori. No obstant, diversos estudis sobre concepcions dels estudiants entorn del so han identificat nombroses dificultats de comprensió de la naturalesa i la propagació del so. Aquesta recerca pretén conèixer com entenen els estudiants l'atenuació del so i les propietats dels materials utilitzats per atenuar el so per tal d'aportar noves percepcions sobre com ensenyar millor aquests conceptes.

El concepte de l'atenuació del so requereix que els alumnes apliquin els seus coneixements sobre naturalesa i propagació del so i les seves concepcions sobre energia en un context diferent, en el qual es relacionen els fenòmens físics associats al so amb les propietats dels materials que es poden utilitzar per atenuar-lo. Per tant, l'estudi de l'atenuació del so pot resultar una àrea interdisciplinària entre la física i la química.

En aquest treball de recerca hem decidit centrar-nos en l'atenuació del so perquè aquest coneixement dels estudiants s'ha tingut en compte, juntament amb el model conceptual sobre atenuació del so i sobre propietats acústiques dels materials que es vol ensenyar, a l'hora de dissenyar una seqüència d'activitats d'ensenyament i aprenentatge per promoure la construcció d'aquest model conceptual per part dels alumnes. Aquesta temàtica ha estat escollida ja que permet fer als alumnes conscients del paper de la ciència en el context social. En concret, el tema de l'atenuació del so es pot relacionar amb el problema real de la contaminació acústica i amb el paper que juga la Ciència de Materials en la caracterització, disseny i desenvolupament de materials amb propietats específiques per tal d'atendre les necessitats humanes particulars.

2. El problema de recerca

2.1. Presentació del problema en el seu context

La recerca en el camp de l'educació científica (Lijnse 2006) ha mostrat que els objectius presents en les propostes educatives de molts països s'assoleixen en un grau molt petit. Els alumnes que tenen interès per les ciències són en general una minoria en tots els països i, fins i tot per aquests alumnes, s'han observat dificultats d'aprenentatge degudes a factors com ara la imatge de ciència que els professors i els llibres mostren, la poca connexió dels coneixements científics ensenyats amb les idees prèvies dels alumnes, el model didàctic emprat per alguns professors que valoren la transmissió de coneixements i la memorització d'aquests per part dels alumnes, etc. La recerca en el camp de l'educació científica s'ha dirigit directament o indirecta a tots aquests problemes generals, abordant-los de diferents maneres i posant èmfasi en aspectes diferents (recursos, estratègies didàctiques, seqüenciació, etc.).

Aquest treball de recerca es dirigeix a l'estudi de les concepcions dels estudiants sobre l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials. El so i el soroll són conceptes que formen part de l'experiència quotidiana dels estudiants. No obstant, la percepció del so és auditiva, no visual. Així doncs, per arribar a entendre què és el so, com es propaga i com s'atenua, només és possible construir un model sobre què és el que es mou a través del medi. En altres paraules, arribar a conèixer diferents aspectes del so resulta difícil quan no hi ha eines de percepció que ajudin. Per totes aquestes raons, és normal que els estudiants s'hagin construït algun tipus de representació mental prèvia abans de ser influenciats per un ensenyament formal en ciències. Des del punt de vista científic, el so és produït per vibracions d'un objecte que ha estat colpejat. Aquestes vibracions es propaguen a través d'un medi elàstic que gradualment transmet l'estat de compressió o descompressió, sense transport de matèria. La qüestió important és que el so és un procés de transferència d'energia i, per tant, té les propietats físiques dels processos en comptes de les dels objectes. Alguns dels estudis que han analitzat les concepcions dels alumnes sobre el so han arribat a la conclusió de que aquesta idea clau és una de les que implica més dificultats de comprensió.

Diversos investigadors del camp de l'educació científica han fet ús de la recerca entorn del pensament dels estudiants sobre aspectes del món natural en el disseny i avaluació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge. Però com diu Millar (1989, citat per Scott *et al.* 2007), no es pot establir una correspondència directa i senzilla entre les perspectives d'aprenentatge i les estratègies d'ensenyament. Scott *et al.* (2007, p. 39) consideren que *“les percepcions sobre com ensenyar un contingut conceptual determinat només sorgiran a través de la recerca basada en el disseny, on s'utilitzen els estudis sobre el raonament dels estudiants en un domini específic per dissenyar materials d'ensenyament, que després es proven i desenvolupen en un procés cíclic (Lijnse 1995)”*. És, per tant, reconeguda la necessitat d'elaborar seqüències d'ensenyament i aprenentatge basant-se en els resultats de la recerca que provenen de diferents camps, com la pedagogia, la psicologia, la didàctica de les ciències i la ciència.

2.2. Justificació de la recerca

2.2.1. Antecedents teòrics

Diversos estudis (Linder 1992/1993, Saura & De Pro 1999, Hrepic *et al.* 2002, Mazens & Lautrey 2003, Wittmann *et al.* 2003, Eshach & Schwartz 2006) han mostrat algunes de les representacions i concepcions comunes dels estudiants sobre el so, abans i/o després d'un ensenyament formal entorn d'aquest tema. La majoria d'aquests estudis han suggerit que els estudiants s'han format un model mental sobre el so que no és adequat en molts casos des del punt de vista científic. Alguns dels autors d'aquests estudis es refereixen generalment a aquest model com el "model entitat" del so, en el qual es considera el so com un objecte o substància, que és diferent del medi a través del qual es propaga.

Fins ara, la recerca realitzada entorn de les concepcions dels estudiants sobre el so ha consistit en analitzar les idees prèvies o concepcions alternatives dels estudiants sobre la naturalesa i la propagació del so. És a dir, la majoria d'aquests estudis han tractat d'analitzar què pensen els alumnes sobre què és el so, com es propaga i altres qüestions relacionades, com la velocitat de propagació, la necessitat de medi per propagar-se o la representació gràfica d'una ona sonora. El present estudi podria donar noves perspectives a aquestes recerques ja que pretén analitzar les concepcions dels estudiants entorn de l'atenuació del so, que resulta un context diferent on els alumnes han d'aplicar les seves concepcions sobre el so i sobre l'energia.

Quasi com a continuació d'aquests estudis que han posat de manifest les concepcions dels estudiants en relació a un nombre de fenòmens i conceptes i que han suggerit diverses implicacions per a l'ensenyament i l'aprenentatge, els investigadors han desenvolupat diversos tipus d'activitats per a l'ensenyament i propostes per millorar la comprensió del coneixement científic dels estudiants atenent els resultats de les recerques anteriors sobre les concepcions dels estudiants, entre d'altres aspectes. Com diuen Méheut i Psillos (2004), les seqüències d'ensenyament i aprenentatge tenen un caràcter dual ja que són utilitzades com a eines de recerca i com a innovacions per tractar els problemes d'aprenentatge relacionats amb un tema específic.

Algunes de les propostes d'ensenyament basades en la recerca s'han centrat en l'estudiant, per tant, han posat molt èmfasi en les idees prèvies dels estudiants i les principals dificultats que aquests mostraven respecte al tema estudiat. En canvi, altres propostes d'ensenyament s'han inspirat en el contingut científic a ensenyar pròpiament. Fischer *et al.* (2005, citat per Duit 2006) van arribar a la conclusió de què els enfocaments que només es preocupen pel contingut no porten cap a la millora de les pràctiques. Aquest fet és considerat per Duit (2006) com un argument a favor de la idea de que els problemes de contingut no poden ser desvinculats de les qüestions educatives.

L'estudi que aquí presentem consisteix en una recerca de les concepcions dels estudiants sobre l'atenuació del so i sobre les propietats acústiques que els alumnes associen als materials, els resultats de la qual pretenem aplicar en un treball posterior de disseny d'una seqüència d'activitats d'ensenyament i aprenentatge entorn d'aquesta temàtica.

2.2.2. Importància en el context

Dues seqüències d'ensenyament i aprenentatge sobre el so i la seva interacció amb els materials han estat desenvolupades per un equip d'investigadors del CRECIM en col·laboració amb un grup de professors de secundària. La primera seqüència, que va ser desenvolupada en el marc del projecte REVIR, té com a objectiu millorar la comprensió dels estudiants sobre què és el so, com es propaga i com pot ser atenuat. El projecte REVIR va ser utilitzat com a context per portar a terme l'estudi que aquí presentem sobre les concepcions dels estudiants entorn de l'atenuació del so i les propietats dels materials en relació al seu comportament acústic. Els resultats d'aquest treball han estat aplicats en el context d'altre projecte, Materials Science, com a part del disseny d'una segona seqüència d'ensenyament i aprenentatge basada en la recerca, que tracta de les propietats acústiques dels materials.

En aquest treball, es presenten doncs els resultats de la recerca sobre les concepcions dels estudiants entorn de l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials.

Considerem que aquesta recerca pot ser útil per diferents raons. En primer lloc, conèixer les idees dels alumnes sobre aquesta temàtica ens orienta sobre els aspectes que cal prioritzar en el seu ensenyament, per tal que el disseny i l'avaluació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge no es fonamenti en intuïcions sinó en evidències. Pretenem interpretar les idees dels alumnes i buscar possibles explicacions per les mateixes per tal de justificar els raonaments que duen a terme durant l'elaboració d'explicacions i prediccions a la classe de ciències.

Finalment, aquesta recerca pot tenir una utilitat acadèmica, ja que pot aportar noves perspectives per continuar treballant i investigant i pot ampliar el coneixement en aquest camp de l'ensenyament i aprenentatge de les ciències (i, en concret, dels aspectes relacionats amb el so). A més, els resultats d'aquest estudi es donaran a conèixer a través del congrés GIREP 2008, que es celebrarà a Xipre aquest proper agost (Hernández, Pintó & Couso 2008).

2.2.3. Motivacions personals

Potser caldria, arribats a aquest punt del treball, explicar què és el que m'ha conduït a fer un treball de recerca com aquest. Per començar, és necessari especificar que el fil conductor que ha guiat els meus estudis al llarg dels anys ha estat fonamentalment l'objectiu d'ensenyar als alumnes de secundària per tal d'ajudar-los a aprendre de manera significativa, per tal de facilitar-los la comprensió d'una sèrie de coneixements i el desenvolupament d'unes competències que puguin ser útils i rellevants per ells, en les seves vides quotidianes o en els seus futurs professionals. Fins ara, aquestes motivacions poden ser comunes a qualsevol docent entusiasta amb la seva professió. No obstant, aquí entra en joc la meva altra gran passió: la ciència. Ha estat aquesta necessitat de trobar explicacions a les coses el que em va portar a una formació en física.

Ja com a becària d'investigació en el CRECIM, he pogut col·laborar en tasques relatives a diferents projectes. Un d'ells és el projecte REVIR on he pogut desenvolupar una tasca docent. Aquest escenari m'ha permès familiaritzar-me amb algunes de les etapes del procés de la recerca basada en el disseny, ja que aquest context implica una resposta

constant a les necessitats i dificultats que sorgeixen en posar en pràctica una seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre algun tema específic.

Actualment, el projecte en el qual desenvolupo gran part de la meua acció com a becària d'investigació és el projecte Materials Science. Dins del marc d'aquest projecte, he tingut l'oportunitat de participar des dels inicis en el procés de planificació, disseny, desenvolupament i implementació d'una seqüència didàctica en col·laboració amb altres investigadors de l'equip del CRECIM i professors de secundària.

Una de les seqüències d'activitats elaborades i implementades al llarg del curs escolar (2006-2007 i 2007-2008) dins del projecte REVIR tracta el tema de l'educació acústica. A més, al llarg d'aquest últim curs he participat en el procés de disseny de la unitat didàctica pel projecte Materials Science, que aborda també el tema de l'atenuació del so i de les propietats acústiques dels materials. Com que ambdós seqüències d'activitats han estat elaborades per alumnes de segon cicle de secundària, ens va semblar molt valuós dur a terme un estudi sobre les idees dels alumnes que van participar en les sessions REVIR entorn dels conceptes comuns tractats en ambdues unitats per tal de tenir-les en compte durant el procés de disseny de la unitat didàctica del projecte Materials Science.

En resum, la meua motivació principal és aprendre sobre Didàctica de les Ciències i sobre com fer recerca en aquest camp, per tal que aquests coneixements i experiències em puguin servir en un futur com a docent i/o investigadora per plantejar-me els problemes a l'aula com a reptes a afrontar, a investigar i a tractar de solucionar.

3. Marc teòric

Un dels objectius de la recerca en el camp de l'educació científica consisteix en explorar i atendre les qüestions relacionades amb les diferències existents entre la ciència que s'ensenya a la classe i la que els estudiants aprenen. El primer punt del marc teòric d'aquest treball fa referència en concret als diferents enfocaments per abordar la recerca sobre aprenentatge de les ciències per tal de justificar teòricament la importància de considerar les idees prèvies dels estudiants a la classe de ciències.

Molt sovint, a l'ensenyament tradicional no es té en compte el conjunt d'idees que cada estudiant porta a la classe. Quan un estudiant arriba a la classe de ciències de qualsevol nivell ha tingut molt temps per formular en la seva ment un conjunt de regles per descriure com funciona el món i que utilitzen per predir fenòmens. Aquestes "concepcions prèvies" que els estudiants porten a la classe són creences complexes, que poden estar en contradicció amb altres idees coexistents. Per tant, a l'hora d'ensenyar d'una manera més eficaç, és important entendre les idees que ja tenen els estudiants. Com que l'objectiu d'aquest treball és dur a terme un estudi de les concepcions dels estudiants sobre el so, hem dedicat el segon apartat del marc teòric d'aquest treball a la revisió bibliogràfica dels estudis anteriors que han tractat de les concepcions dels estudiants entorn del so.

Una de les finalitats que considerem essencial d'un estudi sobre concepcions dels alumnes com el que aquí presentem és l'aplicació dels resultats obtinguts en el disseny i avaluació d'activitats o seqüències d'activitats que promoguin una millor comprensió dels alumnes dels conceptes tractats. Per aquesta raó, hem dedicat l'últim capítol d'aquest marc teòric a abordar breument el paradigma de la recerca basada en el disseny, que combina la recerca educativa empírica i el disseny fonamentat en les teories educatives sobre aprenentatge, com a metodologia per comprendre com, quan i per què funcionen a la pràctica les innovacions educatives.

3.1. Perspectives sobre aprenentatge de les ciències

El primer capítol del recentment publicat *Handbook of Research on Science Education* (Abell & Lederman 2007) ja explicita que la literatura sobre l'aprenentatge de les ciències és diversa en quant a mètodes i punts de vista. Anderson (2007) descriu les perspectives sobre aprenentatge de les ciències en termes de tradicions de recerca. Aquí descriurem breument la tradició del *canvi conceptual* i la tradició *sociocultural*. Examinarem la importància d'aquestes tradicions en funció de les respostes que cadascuna d'elles ha proporcionat a dues preguntes clau en el camp de la recerca sobre aprenentatge de les ciències, com són:

- a) *Per què els estudiants no aprenen allò que se'ls intenta ensenyar?*
- b) *Per què aquesta llacuna d'assoliments persisteix?*

La tradició del canvi conceptual

Les arrels d'aquesta tradició es troben en la recerca sobre el desenvolupament cognitiu dels individus de Jean Piaget. Piaget reconeixia la importància del pensament dels nens

i portava a terme entrevistes clíniques com a mètode per investigar com els nens donen significat al món. Piaget va representar el coneixement com esquemes existents en el cap dels individus i va proposar un mecanisme per canviar l'organització intel·lectual, anomenat *adaptació*, que implicava els processos d'assimilació i d'acomodació. Les seves contribucions al canvi conceptual es van basar en el desenvolupament d'estructures de pensament lògic independents del contingut (estadi operacional concret i estadi operacional formal).

Com Scott *et al.* (2007) afirmen, possiblement la ruptura més significativa amb les contribucions sobre aprenentatge conceptual de Piaget pot situar-se en la psicologia evolutiva de David Ausubel. Ausubel sostenia que la influència més significativa sobre el desenvolupament conceptual dels aprenents és el seu coneixement conceptual existent dins d'un determinat domini.

Posteriorment a les contribucions d'aquests autors, es va anar desenvolupant un bon nombre de recerques centrades en les idees prèvies dels alumnes en múltiples dominis o continguts específics. La bibliografia de Reinders Duit (2007, a) que recull nombrosos estudis sobre concepcions dels alumnes entorn de diversos temes científics n'és un bon exemple.

Una raó de la popularitat de la recerca sobre les concepcions o idees dels estudiants és que ha produït respostes productives a la primera de les dues preguntes clau de la recerca sobre aprenentatge de les ciències: *Els estudiants fracassen en aprendre el que se'ls intenta ensenyar perquè arriben a l'escola amb marcs conceptuals alternatius que formen les seves percepcions i interpretacions i que no són atesos per la ciència escolar.* Per tant, les concepcions dels alumnes expliquen el fracàs dels estudiants en aprendre les ciències que se'ls ensenyen a l'escola en termes de conflictes amagats entre els marcs conceptuals científics i els marcs conceptuals que els estudiants desenvolupen a través de la seva pròpia experiència. Aquesta és una resposta productiva degut a que suggereix una línia d'acció: *Identificar els marcs alternatius dels estudiants i atendre'ls explícitament durant l'ensenyament.*

Els investigadors del canvi conceptual **caracteritzen als estudiants** com pensadors racionals però inexperts que arriben a l'escenari de la classe amb les seves pròpies idees sobre el món. Aquestes idees, etiquetades com errors conceptuals, concepcions naïf, marcs alternatius, entre d'altres termes, són considerades menys potents i precises que les teories científiques però, en general, funcionen pels propòsits dels estudiants i dins dels límits de la seva experiència. Per tant, la tasca dels docents consisteix en donar accés als estudiants a noves experiències amb el món que siguin incompatibles amb les seves idees naïf i ajudar-los a veure el poder dels models per explicar les noves experiències. Aquest és el complex procés del *canvi conceptual*. Els estudiants només aprenen entenent si modifiquen les seves ecologies conceptuals (rang d'idees que sostenen) per acomodar les concepcions científiques més sofisticades. Per tant, durant el canvi conceptual l'estatus de les diferents idees dins de l'ecologia conceptual d'una persona canvia. Segons aquest enfocament, l'aprenentatge té lloc quan es construeixen conceptes i després es relacionen dins d'estructures conceptuals més complexes. Els conceptes han de ser considerats com a unitats bàsiques de coneixement que poden ser acumulades, gradualment refinades i combinades per formar estructures cognitives cada vegada més riques. En definitiva, aquesta perspectiva de l'aprenentatge considera que

els aprenents utilitzen determinats sistemes de pensament que es desenvolupen i canvien com a resultat de processos cognitius.

Els investigadors que es troben dins d'aquesta tradició de recerca **caracteritzen la ciència** com un diàleg continu amb la naturalesa, en el qual els científics han desenvolupat models cada vegada més potents per tal d'explicar un ampli rang de fenòmens. Per aquests investigadors, el poder de la ciència resideix en el seu ús d'un raonament basat en models per entendre la naturalesa i en els models específics que els científics han desenvolupat. Des d'aquesta perspectiva, la tasca de l'educació científica consisteix en incloure als estudiants en el diàleg dels científics amb la naturalesa i en donar-los accés al potencial de les idees científiques.

En quant als **mètodes de recerca** per analitzar les concepcions dels estudiants, la recerca sobre el canvi conceptual típicament utilitza els tests escrits, les entrevistes i els protocols de resolució de problemes entre d'altres, per construir un argument sobre la comprensió dels estudiants abans i/o després de l'ensenyament.

Aquest model d'aprenentatge ha inspirat **dos enfocaments de l'ensenyament** per promoure el canvi conceptual. Un es basa en promoure *conflictes cognitius*, on els estudiants puguin veure el contrast entre les seves concepcions i les concepcions científiques alternatives i el poder i la precisió superiors de les concepcions científiques, mentre que en l'altre es promou la construcció del coneixement de l'aprenent partint de les seves idees ja existents i estenent aquestes.

La tradició sociocultural

Vygotsky ha estat un teòric clau en l'estudi de l'aprenentatge. Vygotsky va posar l'èmfasi en com els nens aprenen a partir de la seva participació en activitats amb altres persones. El punt clau en la visió de Vygotsky és la idea de que l'aprenentatge implica un pas d'un context social a una comprensió individual. És a dir, les noves idees es coneixen primer en situacions socials, on es fa ús d'un rang de modes de comunicació, com la parla, els gestos, l'escriptura, les imatges visuals i l'acció i, a mesura que les idees són explorades durant l'esdeveniment social, cada participant és capaç de reflexionar i donar un significat individual a allò que es comunica. Es produeix així una transició des del pla social al pla individual, durant la qual les eines de comunicació social arriben a interioritzar-se i proporcionen el mitjà pel pensament individual.

D'aquesta manera, els investigadors socioculturals es centren en l'anàlisi de la cultura i del llenguatge de les comunitats científiques i, per tant, solen basar les seves recerques en estudis antropològics sobre com la gent aprèn a utilitzar pràctiques i recursos en els seus raonaments i en els seus plantejaments de resolució de problemes a partir dels seus propis contextos intel·lectuals i culturals.

La recerca sociocultural ha proporcionat noves i convincentes respostes a les dues preguntes clau que es planteja la recerca sobre l'aprenentatge de les ciències. En quant a la primera d'elles, la recerca sociocultural ha mostrat que els estudiants fracassen en aprendre ciències, no només perquè han de tractar amb conflictes conceptuals amagats, sinó també perquè han de tractar amb conflictes culturals amagats. En quant a la segona pregunta, la recerca sociocultural ha donat una nova percepció sobre els orígens i raons

de persistència de les llacunes d'assoliment existents, revelant la diversitat de llenguatges, valors i normes socials dels membres de les comunitats de discurs científic. Els investigadors socioculturals **caracteritzen la ciència** com un diàleg científic entre persones. Els científics són participants en comunitats de pràctica amb normes, valors i patrons d'activitat lingüístiques i socials compartides. Per tant, una de les principals tasques de l'educació científica segons aquesta perspectiva consisteix en ajudar als estudiants a controlar els recursos lingüístics i culturals que necessiten per participar en aquest discurs privilegiat.

Els investigadors que es posicionen dins d'aquesta tradició **caracteritzen als estudiants** com participants en múltiples comunitats de pràctica, cadascú amb els seus propis llenguatges, valors i pràctiques. Els estudiants que entren a l'escola no han participat en comunitats de pràctica científiques, encara que alguns d'ells provenen de comunitats el llenguatge i les pràctiques de les quals són molt més properes al llenguatge i pràctiques científiques que d'altres. Els estudiants, per tant, aprenen ciències quan són capaços d'adoptar el llenguatge, els valors i les normes socials científiques amb el propòsit de participar en pràctiques científiques, com la indagació i l'aplicació de conceptes científics.

La recerca sociocultural ha mostrat que els nens no deixen d'utilitzar les seves perspectives basades en conceptes quotidians després de dominar les formes de discurs científiques i, per tant, considera que les formes de parlar i pensar quotidianes o espontànies constitueixen un "llenguatge social quotidià". La perspectiva sociocultural sobre l'aprenentatge implica clarament un procés d'addició conceptual més que de substitució. De fet, aquesta idea d'heterogeneïtat de maneres de pensament ha estat desenvolupada en el context de l'educació científica en termes d'un *perfil conceptual* (Mortimer & Amaral 2007). El perfil conceptual reconeix la coexistència, per un individu, de diferents maneres de conceptualitzar els fenòmens físics en ciències. Així, el que semblaria ser un canvi conceptual d'un estudiant podria resultar ser una manera diferent de descriure una concepció basada en la influència del context en el què es presenta i de les preferències per una conceptualització o model donat. Per tant, l'aprenentatge de les ciències pot ser caracteritzat en termes d'estendre les zones del perfil conceptual individuals dels aprenents.

Respecte a la pregunta de per què sembla tan difícil l'aprenentatge de certes parts de la ciència, Leach i Scott (2002) donen una resposta basada en la idea de "demanda d'aprenentatge". És a dir, expliquen que com més diferències significatives existeixin entre les aportacions de la ciència escolar i les quotidianes sobre un fenomen particular, majors demandes d'aprenentatge es requereixen de l'estudiant. Aquests autors han identificat tres possibles maneres en que poden sorgir les diferències entre les perspectives quotidianes i les de la ciència escolar:

- Diferències en les *eines conceptuais* utilitzades (nocions quotidianes d'un concepte *vs* enfocament científic que descriu aquest concepte).
- Diferències en els *fonaments epistemològics* d'aquestes eines conceptuais (maneres de generar explicacions científiques utilitzant models i teories *vs* maneres de generar explicacions en el llenguatge social quotidià).
- Diferències en l'*ontologia* sobre la qual es basen aquestes eines conceptuais (entitats que són conceptualitzades com que tenen una existència real en el camp de la ciència escolar *vs* el llenguatge quotidià dels estudiants).

Els **mètodes de recerca** dels investigadors socioculturals solen ser naturalistes, és a dir, busquen entendre situacions reals d'aula, com operen els individus que hi participen dins d'aquest context social de la classe. Els seus anàlisis es centren en l'ús del llenguatge dels estudiants i del professor.

En quant als **mètodes d'ensenyament** per promoure l'aprenentatge, els investigadors socioculturals posen l'atenció en mètodes que ajudin als estudiants a dominar el llenguatge i les pràctiques fixades culturalment, començant pel problema de com professors i estudiants poden comunicar-se significativament a través de les diferències lingüístiques i culturals. L'aprenentatge és promogut a través de crear espais a la classe, on els discursos i coneixements quotidians i científics puguin ser negociats i es fusionin per crear una nova comprensió. Dins d'aquests espais, els conflictes socioculturals poden ser resolts i els estudiants de diferents cultures poden aportar recursos intel·lectuals a la comunitat de la classe.

Cadascuna d'aquestes perspectives de l'aprenentatge es correspon amb un enfocament per abordar la recerca sobre l'aprenentatge de les ciències:

Enfocaments cognitius

La majoria de perspectives cognitives comparteixen les següents premisses sobre l'aprenentatge conceptual de les ciències:

- a) Les creences dels individus són construïdes, més que no pas rebudes.
- b) Existeixen moltes semblances en com els individus semblen pensar sobre el món natural.
- c) Les idees que una persona posseeix sobre una matèria donada influeixen enormement en el seu posterior aprenentatge sobre aquesta matèria.

Enfocaments socioculturals i socioconstructivistes

La majoria de perspectives socioconstructivistes comparteixen les següents premisses sobre l'aprenentatge conceptual de les ciències:

- a) Aprendre un coneixement científic implica passar des d'un pla social a un pla personal.
- b) El procés d'aprenentatge és conseqüència de la construcció de significats individuals per part de l'aprenent.
- c) L'aprenentatge és mediat per diversos recursos semiòtics.
- d) Aprendre ciències implica aprendre el llenguatge social de la comunitat científica, que ha de ser introduït a l'aprenent per un professor o alguna altra figura de coneixement.

3.2. Concepcions dels estudiants entorn del concepte del so

Com hem repassat en la secció anterior, en les últimes dècades, múltiples recerques han identificat i han posat de manifest la importància de tenir en compte les idees prèvies dels alumnes, tant si han estat elaborades en situacions quotidianes com si ho han estat durant l'escolarització, ja que aquestes idees tenen sentit pels alumnes, són útils quan

justifiquen les explicacions que han de donar i estan fortament arrelades en la seva estructura cognitiva (Duit & Treagust 2003).

Segons mostra la bibliografia sobre idees dels estudiants compilada per Duit (2007, a), la física és el domini en el qual s'han portat a terme més recerques sobre concepcions dels estudiants i sobre canvi conceptual. Segons apunten Duit *et al.* (2007), això pot ser degut fonamentalment a dues raons: la raó principal sembla ser que l'aprenentatge de la física implica dificultats que són degudes a la naturalesa particular de la física; en segon lloc, la física clarament és el domini de les ciències que genera menys interès entre els estudiants. Dins de les nombroses publicacions sobre idees dels estudiants entorn de conceptes de la física, es poden trobar pocs estudis que hagin tractat sobre les concepcions dels alumnes entorn del so. Fent una revisió bibliogràfica d'aquests estudis, podem destacar els següents:

Linder (1992) va examinar algunes de les dificultats per entendre el so que tenien els llicenciats en física que participaven en un curs de formació de professors. Aquest estudi va revelar que algunes de les concepcions sobre el so que sostenien els alumnes eren:

- El so és una entitat que és transportada per molècules individuals, que es mouen al llarg d'un medi.
- El so és una entitat que és transferida d'una molècula a una altra a través d'un medi.
- El so és una substància limitada que viatja amb un cert ímpetu, i normalment es representa en forma d'un corrent d'aire.
- El so és una substància en forma d'un patró que viatja.
- El so està relacionat amb el concepte d'ona com a part d'un sistema de modelització de física matemàtica (i en aquest context, no és distingit de la llum ja que les equacions d'ona són idèntiques).

Un estudi posterior del mateix autor (1993) va analitzar les explicacions dels mateixos estudiants amb l'objectiu de categoritzar les diferents maneres que tenien de parlar i de pensar sobre el tema del so. Linder va destacar tres conceptualitzacions diferents dels factors que afecten a la velocitat de propagació del so:

- En la primera d'elles, les molècules eren presentades com una obstrucció a la propagació del so a través del medi.
- En la segona, la distància entre molècules, o distància que una molècula havia de viatjar abans d'interaccionar amb una molècula veïna, reflectia el paper de la densitat com a factor que afecta la velocitat de propagació del so.
- En la tercera, s'identificaven correctament els factors que afecten a la velocitat del so (elasticitat i densitat). No obstant, els estudiants van donar-los un sentit no físic en termes de la *compressibilitat*, que va ser conceptualitzada com a sinònim del concepte físic d'elasticitat i que guardava una relació de proporcionalitat inversa amb la densitat.

Un estudi portat a terme per Saura i De Pro (1999) va identificar les idees tant conceptuals com procedimentals sobre el so dels estudiants d'un curs de formació professional. Aquests autors van assenyalar que els estudiants sostenen una concepció esbiaixada de les ones i requereixen clarificar les seves magnituds característiques

(freqüència, amplitud i longitud d'ona). A més, els autors van apreciar un gran desconeixement per part dels estudiants sobre el buit i la composició de la matèria, i concepcions errònies sobre l'energia, les quals podien condicionar el seu aprenentatge d'altres conceptes relacionats. Finalment, van observar que els alumnes utilitzaven un model corpuscular en els seus raonaments sobre el so

Hrepic *et al.* (2002) van investigar els models mentals dels estudiants sobre la propagació del so en classes d'introducció a la física a la universitat. A més del model d'ones científicament acceptat, es va identificar un model alternatiu dominant que van anomenar model "entitat". En aquest model el so és considerat una entitat diferent del medi, que es propaga a través d'ell i té les següents propietats:

- El so és independent i no necessita medi per propagar-se.
- El so és material, una substància.
- El so passa a través d'espais buits entre les partícules del medi (filtrant-se).
- El so es propaga en forma de partícules, que són diferents de les partícules del medi.

Aquests autors van arribar a la conclusió de que les respostes dels estudiants depenien tant dels seus models mentals com del context de la pregunta a la qual responien.

Mazens i Lautrey (2003) van estudiar el grau de coherència de l'organització del coneixement i la naturalesa del canvi conceptual sobre el concepte del so en nens de diferents nivells de Primària. Es va intentar determinar si els nens aplicaven propietats d'objecte al so o si consideraven el so com un procés vibratori. També van estudiar si els nens atribuïen al so determinades propietats d'objectes físics, com la substancialitat, el pes i la permanència. Els nens més petits consideraven el so com un objecte en major proporció que els nens més grans. Els nens atribuïen al so la propietat de la substancialitat més freqüentment que el pes o la permanència. Basant-se en les dades de substancialitat, els autors van identificar quatre models mentals:

- El so no pot passar a través d'altres objectes a menys que aquests tinguin forats.
- El so pot passar a través de sòlids si és més dur/fort que aquests.
- El so és immaterial.
- El so és un procés vibratori.

Aquests autors conclouen que el canvi conceptual del coneixement sobre el so no succeeix a través d'una transferència sobtada del concepte d'una categoria ontològica de *matèria* a una categoria ontològica de *procés*, sinó que més aviat és un procés lent i gradual de revisió de creences.

Wittmann *et al.* (2003) van descriure el raonament d'uns estudiants de física a la universitat en termes de conjunts de recursos o eines de pensament que ens ajuden a caracteritzar els objectes i esdeveniments. Els autors van concloure que els estudiants sovint utilitzaven conjunts de recursos diferents dels que serien desitjats. El problema es trobava en que molts d'ells s'aproximaven a la física d'ones utilitzant un raonament problemàtic i poc productiu, ja que es centraven en les propietats de les ones com si fossin objectes en comptes de relacionar-les amb esdeveniments. Per aquest motiu, la majoria d'estudiants tenien grans dificultats en distingir entre la propagació de l'ona sonora i el moviment del medi a través del qual viatja.

Eshach i Schwartz (2006) van portar a terme una recerca utilitzant “l’esquema de substància” de Reiner *et al.* (2000, citat per Eshach & Schwartz 2006) per tal revelar noves percepcions sobre les dificultats per comprendre el concepte del so. L’esquema de substància recull totes aquelles propietats que són comunes a les substàncies materials i descriu les propietats que una persona podria aplicar a un nou concepte. Aquest estudi tenia com a objectiu identificar les concepcions prèvies sobre el so dels estudiants de secundària i examinar si eren consistents o no amb l’esquema de substància. Consistentment amb l’esquema de substància, els participants van assignar al so la capacitat d’empènyer o de ser empès, la propietat d’arrossegat quan es mou en contacte amb alguna superfície, la possibilitat d’estar contingut dins alguna cosa o la capacitat de moure coses o ser mogut. No obstant, les concepcions dels estudiants sobre el so no semblaven ajustar-se a l’esquema de Reiner *et al.* en tots els aspectes. Tot i que els estudiants reconeixien la interacció del so amb altres materials, la majoria dels estudiants creia que, en aquesta interacció, el so mantenia la seva “identitat”, és a dir, el so era considerat com un material separat de la substància amb la qual interaccionava.

Els resultats d’aquest estudi també indiquen que la conceptualització dels estudiants sobre el so manca de consistència interna. Els autors conclouen que els estudiants tendeixen a centrar-se en un fenomen específic i busquen una explicació que podria ser raonable i convincent per explicar aquell problema específic però no es solen preocupar de si les seves explicacions són coherents en altres contextos.

En resum, aquestes recerques han mostrat que el coneixement inicial que els estudiants de qualsevol nivell educatiu porten a la classe de ciències tendeix a ser materialista o “basat en substàncies”, degut a que reflecteix la comprensió dels estudiants novells sobre el comportament dels objectes materials i altres tipus de substàncies que han conegut al llarg de la seva vida. Això implica que els estudiants tendeixen a atribuir propietats o comportaments de substàncies materials fins i tot a conceptes físics abstractes.

3.3. Seqüències d’ensenyament i aprenentatge: productes i instruments de recerca

Méheut i Psillos (2004) identifiquen diferents tendències a l’hora de dissenyar seqüències d’ensenyament i aprenentatge:

Els primers corrents que van inspirar les propostes d’ensenyament basades en la recerca estaven molt **centrades en l’estudiant** i, per tant, posaven molt èmfasi en els recursos dels estudiants i en les potencialitats de confrontar les seves maneres de raonar amb dades del món material (situacions de “conflicte cognitiu”).

Un altre corrent està més **centrat en el contingut científic** que en els estudiants i professors. Aquestes propostes d’ensenyament solen posar èmfasi en la relació entre els problemes i el coneixement científic que proporciona respostes a aquests problemes. Aquest enfocament de disseny de seqüències d’ensenyament i aprenentatge pot relacionar-se amb una visió de la ciència, on l’objectiu de la ciència consisteix en l’elaboració de models. Des d’aquest punt de vista, els problemes són útils no només per solucionar contradiccions sinó també per desenvolupar models que expliquin els fenòmens i que recolzin l’acció i la predicció.

En treballs més recents hi ha una certa tendència a centrar-se tant en l'estudiant com en la caracterització del coneixement en qüestió (*figura 1*). Aquests estudis han marcat un pas important en la concepció de les seqüències d'ensenyament i aprenentatge, on es defineix l'estat cognitiu inicial dels estudiants a través de la recerca existent i l'estat cognitiu final d'acord amb el coneixement científic, que és transformat per tal d'adaptar-lo al raonament dels estudiants (*transposició didàctica*). Duit (2006, p.745) considera que “*l'elaboració de seqüències d'ensenyament i aprenentatge per les ciències requereix de la fusió d'ambdós punts de vista*”.

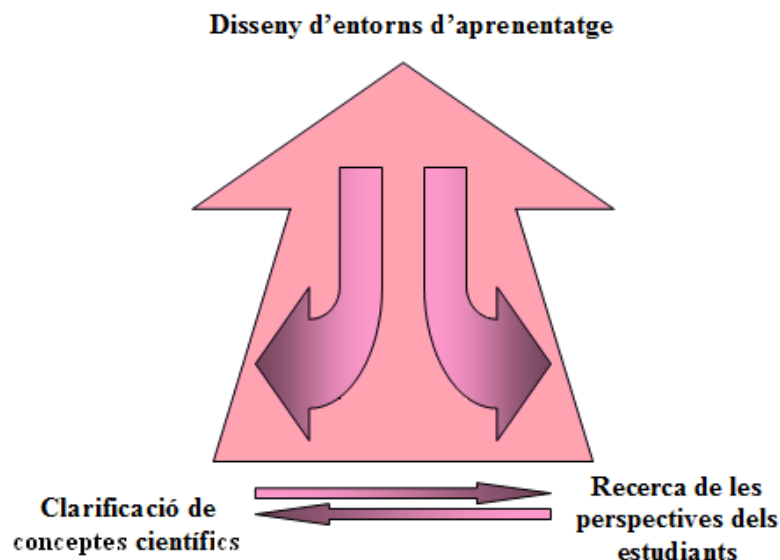


Figura 1. Interacció entre el contingut científic i les concepcions dels estudiants en el disseny de seqüències d'ensenyament i aprenentatge (Duit 2007, b)

Com diuen Méheut i Psillos (2004), la comunitat de recerca europea en el camp de l'educació científica va posar especial atenció en les qüestions de recerca sobre seqüències d'ensenyament a partir de la publicació de Lijnse al 1995 en la qual discutia que aquest tipus d'activitat de recerca és un tipus de “recerca en desenvolupament” (*developmental research*) que implica el disseny, desenvolupament i aplicació d'una seqüència d'ensenyament sobre un tema específic en un procés d'evolució cíclica il·luminat amb dades de recerca. Posteriorment, Duit, Gropengießer i Kattman (1995) van presentar un marc teòric per millorar el disseny i validació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge en termes de la “Reconstrucció Educativa”. Aquest model sosté que els temes d'interès de les ciències com a matèria i les necessitats i capacitats d'aprenentatge dels estudiants han de rebre la mateixa atenció en intentar desenvolupar una proposta de millora qualitativa. Des d'aquesta perspectiva, es considera que les activitats de recerca i innovació han d'estar estretament vinculades.

El model de reconstrucció educativa té com a base epistemològica el constructivisme. Aquesta orientació presenta dues facetes clau. En primer lloc, l'aprenentatge és vist com la tasca dels estudiants que construeixen els seus propis coneixements sobre els ciments d'un saber ja preexistent. Les concepcions i creences que ells porten amb sí al món de l'ensenyament no són considerades com obstacles per a l'aprenentatge, sinó punts de partida per guiar-los cap al saber científic a aconseguir. En segon lloc, el saber científic és vist com una construcció humana, és a dir, aquest model parteix del punt de vista de

que no existeix cap estructura de continguts “vertadera” per un àrea específica. El que es sol anomenar de forma comuna l’estructura dels continguts científics és considerada com el consens d’una comunitat científica específica. Tampoc l’estructura dels continguts científics per a l’ensenyament ve simplement “donada”, sinó que ha de ser construïda en base als objectius vinculats amb l’ensenyament d’un contingut específic. Segons Duit (2006), l’estructura dels continguts científics ha de ser reconstruïda des d’una perspectiva educativa. Aquesta és l’essència del terme “reconstrucció educativa”.

Aquest model de reconstrucció educativa comparteix característiques importants amb altres models, com el de “recerca en desenvolupament” presentat per Lijnse (1995). En primer lloc, el procés de reconstrucció educativa és cíclic, és a dir, consisteix en un procés iteratiu de disseny, implementació i modificació del disseny fins arribar a la seqüència definitiva. A més, la recerca d’aula sobre la interacció entre processos d’ensenyament i d’aprenentatge també és una preocupació clau.

4. Concreció del problema: els objectius i les qüestions de la recerca

4.1. Definició i constructes

Segons les teories constructivistes de l'aprenentatge, la gent construeix el seu propi coneixement i organitza les seves experiències en estructures cognitives o *models mentals*. Els models mentals són els que la gent realment té als seus caps i els que guien el seu raonament (Glynn & Duit 1995). No obstant, aquests models sovint estan en contradicció amb els *models conceptuals* introduïts pels professors i pels llibres de text, entenent per model conceptual una representació cognitiva d'un procés o cosa del món real que estableix relacions entre diversos objectes, conceptes o fenòmens per tal de donar significat a allò que s'observa o s'experimenta i, a més, és consistent amb la comprensió dels fenòmens dels científics. La *figura 2* expressa la idea de que l'aprenentatge dels alumnes es genera a través de la construcció de models conceptuals o científics partint dels seus models mentals. Aquest procés de construcció o elaboració de models conceptuals és el que es coneix amb el nom de *modelització*.

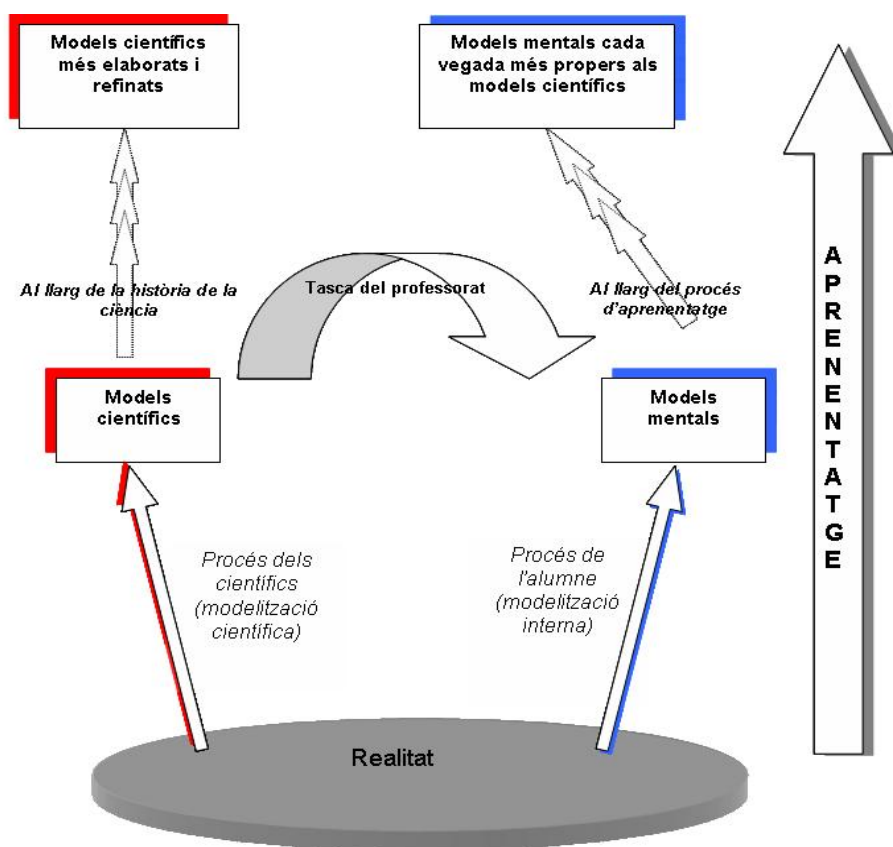


Figura 2. L'aprenentatge com a procés de modelització (Pintó & Feliu 2006)

Sense deixar de compartir les premisses sobre l'aprenentatge conceptual de les ciències que es plantegen les recerques socioconstructivistes, aquesta recerca s'emmarca típicament dins d'un enfocament cognitiu ja que pretén estudiar la comprensió dels estudiants sobre un contingut conceptual determinat, com és l'atenuació del so i les

propietats acústiques dels materials, a través de l'anàlisi de les pròpies idees o concepcions dels estudiants.

Tal com mostra la bibliografia, el so és un tema sobre el qual els estudiants mostren una sèrie de dificultats de comprensió. Alguns autors (Linder 1992) han suggerit que la falta de comprensió sobre el so i la seva propagació no és tractada adequadament durant l'ensenyament d'aquesta matèria. Així doncs, altres recerques han estudiat els efectes de diverses propostes o estratègies d'ensenyament. Per exemple, la recerca portada a terme per Treagust *et al.* (2001) va mostrar que l'avaluació contínua utilitzada per una professora que ensenyava el tema del so a estudiants de secundària li proporcionava informació immediata sobre el seu ensenyament i, al mateix temps els estudiants tenien un ampli rang d'oportunitats per expressar el seu coneixement i comprendre a través de tasques escrites i preguntes orals, beneficiant-se així de les diferents tècniques d'avaluació.

Considerem, per tant, que són igualment necessaris els estudis sobre concepcions i creences dels estudiants entorn de diversos aspectes del so, així com les recerques que es basen en el disseny de propostes educatives que promoguin una millor comprensió d'aquestes qüestions.

4.2. Objectius de la recerca

Aquest estudi pretén determinar quines concepcions tenen els estudiants sobre l'atenuació del so i quines propietats assignen als materials segons el seu comportament acústic. A partir d'aquest estudi, podrem analitzar el grau de comprensió dels estudiants sobre aquestes qüestions respecte al model conceptual d'atenuació del so que es promou en l'ensenyament sobre aquest tema.

4.3. Qüestions de recerca

Podem concretar l'objectiu anteriorment exposat dient que aquesta recerca es proposa respondre a les següents qüestions de recerca:

1. Quines concepcions sobre el fenomen de l'atenuació del so utilitzen els alumnes de secundària en explicar el comportament acústic dels materials?
2. Quines propietats assignen els alumnes de secundària als materials segons el comportament acústic que li atribueixen?

4.4. Limitacions de l'estudi

Per tal de justificar aquesta recerca, és convenient deixar clar que:

- La població d'aquest estudi està formada per estudiants de secundària i de Batxillerat. Tot i així, no hem fet distincions entre les respostes dels estudiants d'ambdós nivells ja que cap d'ells havia rebut un ensenyament sobre el tema de

l'atenuació del so des d'una perspectiva qualitativa. Per tant, tot i que els alumnes de Batxillerat tenen en la majoria dels casos un rang més ampli de coneixements científics i recursos que els estudiants que estan en l'últim curs de l'educació secundària obligatòria, la temàtica sobre la qual han hagut de respondre correspon a un context d'aplicació dels seus coneixements nou per tots ells.

- Les dades d'aquesta recerca es van recollir en un escenari especial ja que va permetre que els alumnes desenvolupessin una sèrie d'activitats d'ensenyament i aprenentatge sobre educació acústica al llarg d'una sessió de treball experimental i d'ús d'eines informàtiques. Aquestes sessions no pretenen ser un model de seqüència d'ensenyament entorn d'aquesta temàtica, ja que la intencionalitat de les mateixes consisteix en donar a conèixer als alumnes alguns aspectes sobre la naturalesa i la propagació del so, les característiques de les ones sonores i l'atenuació del so.
- Com que el nostre instrument d'obtenció d'informació i recollida de dades és un qüestionari obert, hem de tenir en compte les limitacions que aquests instruments poden suposar. Algunes d'aquestes limitacions són:
 - La informació recollida amb un qüestionari obert és escassa ja que en aquest tipus de qüestionaris, els que responen necessiten bastant temps i capacitat per articular els seus pensaments damunt d'un paper.
 - A més, les respostes poden ser difícils de tractar i agrupar per tal de crear categories, degut a la poca informació obtinguda.
 - Trobem les limitacions típiques de descriure dades qualitatives ja que en el llenguatge verbal, "volem dir més d'una cosa alhora" (Bliss & Ogborn 1979).
- Com que el qüestionari que es va elaborar consistia en una única pregunta oberta, no podem analitzar el grau de coherència entre les respostes d'un mateix alumne. Per aquest motiu, hem tractat d'especificar al llarg de tot aquest treball que aquesta recerca consisteix en un estudi d'idees o concepcions dels alumnes, i no pas de concepcions alternatives, ja que per poder anomenar-les d'aquesta manera hauríem hagut de comprovar que els alumnes fan ús d'aquestes concepcions en diferents contextos per tal de donar explicació a diferents fenòmens de manera que es mostrin fortament arrelades en l'estructura cognitiva d'aquests alumnes. Per contra, només podem afirmar que les explicacions dels alumnes han estat elaborades en resposta a les demandes d'una situació particular.

5. Disseny experimental

5.1. Disseny experimental

Pla de recerca

A continuació, es detallen les tasques realitzades per tal de respondre a cadascuna de les qüestions de recerca exposades anteriorment. El següent esquema mostra les diferents etapes que es van donar en el disseny de la recerca:

1. *Determinació de l'objectiu bàsic d'aquesta recerca.* El projecte que engloba la recerca que es presenta en aquest treball i altres recerques que encara estan en fase de disseny i recollida de dades és el projecte Materials Science¹. Aquest projecte tracta del desenvolupament d'un currículum internacional sobre Ciència de Materials basat en la recerca. La primera etapa d'aquest projecte en el nostre context nacional ha consistit en la planificació i disseny d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre les propietats acústiques dels materials per alumnes de segon cicle de secundària. Amb aquest projecte en perspectiva, vam determinar l'objectiu de la present recerca, que consisteix en l'estudi de les concepcions dels alumnes de secundària sobre els continguts conceptuals de que tracta la seqüència, com són el fenomen de l'atenuació del so, el comportament acústic dels materials i les propietats dels mateixos.

2. *Delimitar la població d'estudi.* Abans de procedir al disseny i desenvolupament de la seqüència abans esmentada, vam planificar la recerca que aquí presentem dins del marc de les sessions del projecte REVIR. En aquest projecte, estudiants de secundària de diferents instituts de Catalunya tenen accés a un laboratori de la universitat on utilitzen diferents eines informàtiques i treballen al llarg d'un matí (4 hores aproximadament) en petits grups amb materials especialment dissenyats per aquestes sessions. Una de les sessions REVIR tracta el tema de l'educació acústica. El material d'aquesta sessió consisteix en una seqüència d'activitats sobre acústica basada en resultats de recerca que integra diferents TICs (simulació, aplicació lliure a Internet i tecnologia MBL). Aquesta seqüència va ser desenvolupada per un grup d'investigadors del CRECIM en col·laboració amb professors de secundària (Pintó *et al.* 2006) i, des de la seva primera implementació, diversos aspectes de la mateixa s'han anat revisant. Els principals objectius d'aquesta seqüència són fer conscients als estudiants del problema de la contaminació acústica i promoure la seva comprensió sobre què és el so, com es produeix i com pot ser atenuat.

Aquest escenari va ser escollit per dur a terme aquesta recerca sobre les idees prèvies dels estudiants entorn del tema de l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials ja que, com diuen Scott *et al.* (2007, p.38), una de les premisses sobre l'aprenentatge conceptual de les ciències que comparteixen la majoria d'enfocaments cognitius és que “*existeixen moltes semblances en com els individus semblen pensar sobre el món natural*”. Així doncs, vam realitzar aquesta recerca dins del marc del projecte REVIR ja que els estudiants que hi han participat com a població de la mateixa són també alumnes de secundària que no han rebut cap formació prèvia sobre aquests conceptes, característiques que comparteixen els alumnes als quals va destinada la

¹ El projecte és finançat per la Comissió Europea, DG Research, Science & Society, ref: S&S-16-042942.

seqüència d'ensenyament i aprenentatge desenvolupada dins del projecte Materials Science.

3. *Preparació d'un qüestionari.* Vam elaborar un qüestionari per administrar-lo als estudiants al final de les sessions REVIR d'educació acústica. Aquest qüestionari conté tres preguntes: la primera està relacionada amb el grau de gaudiment dels alumnes durant la sessió i les altres dues estan relacionades amb alguns continguts treballats durant la sessió experimental. D'aquestes dues qüestions, una d'elles demana als alumnes que expliquin les diferències observades entre els sons i sorolls analitzats durant la pràctica per tal que explicitin algunes de les característiques del so treballades durant la sessió (freqüència, nivell d'intensitat sonora). L'altre qüestió va ser redactada per recollir informació sobre les idees dels estudiants entorn de l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials. És aquesta qüestió la que hem analitzada per tal de dur a terme l'estudi que aquí presentem.

4. *Recollida de les dades.* Per tal de tenir en compte els continguts conceptuals que es van abordar durant aquestes sessions, detallem a continuació els principals trets d'aquesta seqüència d'activitats. El dossier que segueixen els alumnes al llarg d'aquesta sessió es pot trobar a l'*annex 1* d'aquest treball.

- La seqüència REVIR d'educació acústica comença descrivint un problema per tal de situar als estudiants en un context real que els resulti significatiu i els suposi un objectiu al llarg de la sessió. Aquest problema tracta d'un grup de música que vol assajar les seves cançons en l'àtic d'un bloc de pisos però molesta als veïns.

- Es fa una exploració de les idees prèvies dels estudiants sobre la naturalesa i la propagació del so a través d'una pluja d'idees entre tot el grup d'alumnes. En aquesta introducció, el professor/a de la sessió fa preguntes als alumnes del tipus: "Què us imagineu que és el so?", "Com creieu que s'origina?", "Què creieu que el produeix?", "Com arriba a les nostres oïdes?", etc. Els alumnes comencen a formular les seves explicacions fent ús de les seves concepcions prèvies sobre el so.

- Després d'aquesta exploració de les idees dels alumnes, es procedeix a la utilització d'una simulació, que va ser dissenyada per un grup d'investigadors² per ajudar als estudiants a construir relacions significatives entre els models físics del so i els objectes i esdeveniments relatius al so, en particular, la percepció sensorial del so. Aquesta simulació mostra diferents representacions d'un model macroscòpic i un model microscòpic de vibració i propagació del so. Una d'aquestes representacions és la gràfica d'una ona sonora.

- Després d'haver analitzat qualitativament la naturalesa del so i la manera com es propaga a través de la simulació així com la seva representació gràfica en forma d'ona sinusoidal, els alumnes visualitzen gràficament diferents sons i sorolls utilitzant un programa lliure a Internet³ i analitzen el període, la freqüència i la forma de les ones sonores observades, tot relacionant aquestes característiques amb el to i el timbre dels sons.

² Aquesta simulació s'anomena *SimulaSon* i va ser l'eina i el producte d'una recerca basada en el disseny portada a terme per un grup d'investigadors de la universitat de Lyon (Vince & Tiberghien 2001).

³ Es tracta de l'aplicació d'enregistrament i edició de so *Audacity*.

- En l'últim apartat d'aquesta pràctica, els alumnes utilitzen un sonòmetre connectat a un equipament MBL per tal de mesurar el nivell d'intensitat sonora d'una font de so. Una vegada els alumnes s'han familiaritzat amb la utilització de les diferents eines, han de dissenyar i portar a terme un experiment per tal de comprovar quin material, d'entre un conjunt de materials proporcionats (llana de roca, llana de vidre, porexpan), atenuarà millor el so. La única idea sobre atenuació del so que s'introdueix i s'empra al llarg d'aquesta sessió és una noció instruccional, és a dir, es parla de l'atenuació del so com la reducció del nivell d'intensitat sonora. No obstant, ni el professor/a de la sessió ni el dossier expliciten una definició científica de l'atenuació del so com a procés de transferència d'energia. És a dir, ni en les seves classes de ciències ni en aquesta sessió es va proporcionar als alumnes un model conceptual sobre l'atenuació del so per interpretar el comportament dels materials enfront al so.

- Finalment, els alumnes han d'elaborar una conclusió en base als experiments realitzats sobre quin material atenuarà més el so i, per tant, amb quin material podrien folrar el seu local d'assaig per tal de solucionar el problema.

5. *Realització de la prova pilot.* En la primera versió d'aquest qüestionari la pregunta estava formulada de la següent manera:

Aventura una explicació de per què alguns materials resulten ser més absorbents del so que altres

Tot i que el significat literal del verb “aventurar” és “arriscar, exposar a l'aventura”, vam escollir aquesta consigna per formular la pregunta amb l'objectiu de transmetre als alumnes que no es pretenia que donessin una resposta adequada des del punt de vista científic ja que no disposaven de cap model conceptual que els permetés fer explicacions prou acurades sinó que havien d'inventar-la i, per tant, preteníem que la formulació de la qüestió els incités a donar una resposta que trobessin coherent dins del seu raonament. Com que pràcticament tots els alumnes van respondre a la qüestió, podem suposar que no van haver-hi problemes de comprensió deguts a la formulació de la pregunta.

Inicialment, es va utilitzar el terme “absorbents” a la pregunta ja que la majoria de materials emprats durant la sessió experimental eren absorbents acústics. Però després d'un primer anàlisi de les respostes dels alumnes, es va comprovar que la majoria no coneixia els tipus de materials que existeixen i s'utilitzen per atenuar el so i, per tant, no distingien el comportament acústic i les propietats acústiques dels materials aïllants i dels materials absorbents acústics. Vam considerar adient proporcionar-los una explicació sobre el comportament acústic d'aquests dos tipus de materials ja que ens interessa analitzar, entre d'altres coses, si els alumnes assignen propietats diferents als materials segons el seu comportament acústic. Així doncs, es va explicar als alumnes que *els materials aïllants reflecteixen gran part del so que els hi arriba mentre que els materials absorbents permeten que el so entri en el seu interior i l'atenuen a dins*. És a dir, amb aquesta breu explicació el professor/a de les sessions va tractar de diferenciar ambdós tipus de materials que són utilitzats per atenuar el so segons com es comporta cadascú d'ells enfront del so, però no es va explicar ni les propietats que poden tenir aquests materials ni es va proporcionar una definició del concepte d'atenuació del so des del punt de vista científic.

Després d'explicar als alumnes la diferència entre materials aïllants i absorbents acústics en aquests termes, es va reformular la pregunta del qüestionari de la següent manera:

Aventura una explicació de per què uns materials resulten atenuar més el so que altres

6. *Anàlisi de les respostes al qüestionari.* A través del context del REVIR, és pretén explorar específicament les explicacions que els alumnes van inventar sobre per què alguns materials atenuen més el so que altres. A partir d'aquestes respostes, es pretenen interpretar les concepcions dels alumnes sobre l'atenuació del so i les propietats dels materials que els estudiants consideren a l'hora d'inventar una explicació per a l'atenuació del so. Es va preveure que les categories d'anàlisi de les respostes al qüestionari sorgirien del buidat de les dades recollides i contindrien aspectes de les idees dels estudiants de secundària participants en les sessions REVIR d'educació acústica entorn a:

- *Fenomen de l'atenuació del so com a interacció entre el so i el medi material.* Els alumnes expliquen què li passa al so quan es diu que aquest s'ha atenuat.
- *Comportament acústic dels materials.* Els alumnes expliquen com es comporten els materials enfront al so (reflectint-lo, absorbint-lo, etc.)
- *Propietats dels materials segons el seu comportament acústic.* Els alumnes expliquen les possibles diferències en l'atenuació del so produïdes per diferents materials en termes de les propietats dels mateixos.
- *Altres aspectes sobre naturalesa i propagació del so.* Els alumnes expliciten directament o indirecta la idea subjacent que tenen sobre què és el so.

Disseny metodològic

Aquesta recerca s'emmarca dins d'un paradigma interpretatiu ja que el nostre interès amb aquest estudi és el de comprendre i interpretar les concepcions dels estudiants de secundària sobre l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials quan aquests han d'elaborar una explicació sobre per què uns materials atenuen més el so que d'altres. Així, qualsevol hipòtesi es troba emmarcada en un context i temps donats, i s'intenten trobar explicacions tenint en compte la interacció entre diversos factors estretament relacionats.

La nostra metodologia és essencialment qualitativa perquè pretenem conèixer què entenen els estudiants per atenuació del so i com expliquen les diferències entre diferents materials segons el seu comportament acústic, per tal de tenir aquestes idees en consideració a l'hora de dissenyar una seqüència d'ensenyament i aprenentatge que tracti aquests aspectes. A més, per tal d'establir una sèrie de categories sobre les idees dels estudiants entorn d'aquests aspectes, és necessari descriure aquestes de manera qualitativa.

5.2. La població de l'estudi

La nostra població d'estudi va consistir en 18 estudiants de 4art d'ESO (15-16 anys) i 58 estudiants de 2on de Batxillerat (17-18 anys) en la modalitat científica i tecnològica, que van participar en les sessions REVIR d'educació acústica a la universitat. Com ja s'ha dit anteriorment, no hem fet distincions entre les respostes dels estudiants d'ambdós nivells ja que cap d'ells havia rebut un ensenyament sobre el tema de l'atenuació del so com a procés de transferència d'energia d'un medi a un altre.

Els motius pels quals van ser escollits aquests alumnes com a població d'estudi són:

- Fàcil accessibilitat a aquests alumnes ja que van participar en les sessions REVIR que s'organitzen des del CRECIM i es porten a terme en un laboratori de la universitat.
- Certa familiarització amb el tema sobre el qual es pregunta en el qüestionari degut a que han participat de la sessió d'educació acústica, la qual cosa ens assegura que aquests alumnes posseeixen unes nocions bàsiques sobre el tema, per tal que puguin elaborar una explicació basant-se en aquesta primera aproximació al terme de l'atenuació del so (atenuació del so com a reducció del nivell d'intensitat sonora). Per tant, no considerem que aquesta població d'estudi sigui representativa de tots els estudiants de secundària en quant a les idees prèvies que posseeixen al respecte.
- Característiques similars a les dels alumnes als quals va destinada la seqüència d'ensenyament i aprenentatge desenvolupada dins del projecte Materials Science en quant a la formació rebuda prèviament.

5.3. Instruments i estratègies

5.3.1. Instruments i estratègies utilitzats

Per aquest estudi vam utilitzar com a instrument d'obtenció d'informació i recollida de dades un qüestionari obert amb una única pregunta per tal de recollir, al final de cadascuna de les sessions REVIR, les idees dels estudiants sobre per què uns materials atenuen més el so que altres. Aquest qüestionari es va administrar per escrit a tots els alumnes que van participar en aquestes sessions d'educació acústica durant el curs 2007-2008.

5.3.2. El procés cap als instruments i estratègies

Les raons per les quals vam utilitzar un qüestionari obert com a instrument d'obtenció d'informació i recollida de dades poden resumir-se en les següents:

- En primer lloc, volíem que les nostres dades sorgissin com a resultat de la reflexió dels alumnes en elaborar una possible explicació basant-se en les seves pròpies idees o concepcions.

- Volíem obtenir dades individuals, per tal de tenir en compte diferents factors o idees que puguin intervenir en la comprensió dels estudiants sobre el concepte de l'atenuació del so i sobre les propietats dels materials segons el seu comportament acústic.
- Per aquest motiu, no volíem fer un qüestionari més tancat, ja que necessitàvem conèixer totes les idees mencionades per aquests alumnes. Les categories plantejades a partir d'aquest qüestionari podrien ser utilitzades per elaborar posteriorment qüestionaris més tancats.

Vam tenir en compte que un qüestionari obert requereix més temps i esforç i capacitat de redacció, per això vam evitar un excessiu nombre de preguntes obertes. D'aquesta manera, el qüestionari contenia una sola pregunta:

Aventura una explicació de per què uns materials resulten atenuar més el so que altres

Aquest qüestionari pretén donar resposta a les dues primeres qüestions de recerca plantejades en aquest estudi.

5.3.3. Validesa i fiabilitat

La prova pilot del qüestionari ens va permetre refinar-lo en base a les respostes que havíem obtingut dels alumnes a partir d'aquest primer qüestionari i l'objectiu amb el qual l'havíem dissenyat. De tota manera, podem dir que aquest instrument ens va permetre mesurar allò que realment preteníem mesurar, d'acord amb les preguntes de recerca que ens havíem plantejat en aquest estudi.

5.4. Recollida de dades

El qüestionari el va respondre una població de 76 estudiants de secundària. El qüestionari va ser administrat als alumnes en finalitzar la sessió REVIR sobre educació acústica, i van emprar uns 10 minuts per respondre'l. Per la majoria dels alumnes, aquesta sessió va introduir-los la noció d'atenuació del so com a reducció del nivell d'intensitat sonora i va familiaritzar-los amb alguns materials, alguns dels quals són comunament utilitzats en la construcció com aïllants i absorbents acústics. Per tant, amb el qüestionari esperàvem recollir les idees dels estudiants sobre què entenen per atenuació del so i com creuen que les propietats dels materials influeixen en el seu comportament acústic respecte al fenomen de l'atenuació del so, però també altres concepcions o creences dels alumnes que poguessin influir en les seves explicacions sobre l'atenuació del so.

5.5. Validesa i fiabilitat del disseny

Per tal d'assegurar la validesa d'aquest estudi, hem intentat ser rigorosos a l'hora de descriure, explicar i justificar en detall els instruments utilitzats, la metodologia i el procés de recollida i anàlisi de dades. El context i la mostra han estat descrits per tal de

garantir que els resultats i conclusions siguin aplicables als mateixos, fent per tant generalitzacions dins de grups i circumstàncies semblants. Per tant, hem evitat fer inferències i generalitzar més enllà del què les dades “poden arribar a mostrar”.

Per tal d’assegurar la validesa interna de l’estudi, hem triangulat les dades amb altres investigadors i amb resultats d’altres estudis. Totes les categories d’anàlisi i les interpretacions fetes a partir dels resultats han estat supervisades per diversos investigadors del CRECIM. El fet de comptar amb l’ajuda de diversos investigadors pot assegurar la diversitat de punts de vista i objectivitzar l’anàlisi dels resultats.

Alguns dels resultats obtinguts en la present recerca sobre les concepcions dels estudiants de secundària entorn dels conceptes de l’atenuació del so i de les propietats acústiques dels materials també han estat contrastats amb la bibliografia del camp i altres recerques similars.

En quant a la fiabilitat, des d’una perspectiva qualitativa, les situacions són úniques (Gorgorió 2006). No obstant, qualsevol estudi qualitatiu ha de poder ser replicat per poder generar, refinar, comparar i validar els constructes. Per això, les categories han estat descrites amb tot tipus de detall, per tal d’establir les propietats que les caracteritzen i les diferencien de la resta de categories.

6. Anàlisi de dades, resultats i discussió

6.1. Procés d'anàlisi

Per tal de descriure el procés d'anàlisi, hem tingut en compte com a punt de partida les qüestions de recerca que ens hem plantejat. Pretenem conèixer les concepcions dels estudiants de secundària sobre l'atenuació del so i sobre les propietats dels materials segons el seu comportament acústic.

L'anàlisi de dades qualitatives és un procés sistemàtic de selecció, categorització, comparació, síntesi i interpretació que pretén explicar el fenomen estudiat en relació a les qüestions de recerca (Gorgorió 2006). Implícitament, en qualsevol anàlisi de dades qualitatives fem *anàlisi de contingut*; en aquest cas, analitzem el contingut d'un qüestionari obert. Amb un anàlisi de contingut, estem buscant l'aparició d'aspectes concrets, centrant-nos essencialment en els missatges escrits i el seu significat.

Altra possible estratègia d'anàlisi complementària és l'*anàlisi fenomenològica*. Aquest tipus d'anàlisi pretén captar l'essència o l'estructura bàsica dels fenòmens observats, les experiències recollides o les entrevistes fetes. L'estratègia d'anàlisi fenomenològica condueix a la formació de categories de descripció a través de la subdivisió i addició iterativa de dades (Linder 1993). El conjunt resultant de categories de descripció pot ser després caracteritzat per un model mental o conceptualització. Aquestes caracteritzacions reflecteixen la naturalesa de les relacions en aquest procés de donar significat. Aquest procés és per tant influenciat per una interacció entre les intencions de l'investigador i el context en el qual s'està experimentant. Com diu Linder (1993, p.656), *“a partir d'una perspectiva fenomenològica podem descriure un “mostrari o inventari” de conceptualitzacions i no de persones i, per tant, és important apreciar que els extractes (fragments de les respostes dels estudiants) il·lustratius proporcionats serveixen com a exemple d'aquestes conceptualitzacions, no com a font”*.

Segons aquesta perspectiva, per tal d'organitzar les dades i poder-les manipular, vam procedir a codificar-les, la qual cosa consisteix en descriure els diferents aspectes que ens interessen de les dades, per poder organitzar-les i recuperar-les fàcilment (Gorgorió 2006). El nostre anàlisi de les dades comença per l'elaboració de categories, la qual es desenvolupa a partir de la comparació recurrent d'unitats de significat en busca de regularitats. Les categories ens vénen suggerides per les mateixes dades, és a dir, pel que el propi investigador/a veu en les dades.

A partir de les respostes obtingudes a la pregunta del qüestionari, hem establert tres categories de significat per tal d'identificar els tipus de models que utilitzen els estudiants per explicar per què uns materials atenuen més el so que d'altres. Hem diferenciat aquestes categories segons si els estudiants feien referència al:

- *Fenomen de l'atenuació del so (F)*. Els alumnes expliquen el fet que uns materials atenuïn més el so que altres descrivint el comportament acústic d'aquests materials, és a dir, interpretant com és la interacció entre el so i els materials quan el so arriba a ells i explicant què entenen per atenuació del so.

- *Descripció dels materials en termes de les seves propietats a nivell macroscòpic (P).* Els alumnes interpreten les diferències d'atenuació del so produïdes per diferents materials en termes de les seves propietats i característiques a nivell macroscòpic. Els alumnes identifiquen per tant certes propietats dels materials que els confereixen un determinat comportament acústic.
- *Descripció dels materials en termes de la seva estructura interna (EI).* Els estudiants expliquen el comportament dels materials en la seva interacció amb el so interpretant com és l'estructura interna d'aquests materials en termes d'un model de partícules de la matèria.

A partir d'aquestes tres categories de significat, hem agrupat les respostes dels estudiants segons les tipologies d'explicació a la pregunta del qüestionari. Aquestes tipologies corresponen a unes subcategories de significat que inclouen les categories de significat abans detallades i alguna combinació de les mateixes. Aquestes tipologies d'explicació es mostren a la *taula 1* a l'apartat 6.2 d'aquest treball.

A l'*annex 3* es poden observar les taules amb l'anàlisi realitzat a partir de les respostes del qüestionari per tal d'identificar tipologies d'explicacions dels estudiants. Aquesta taula mostra la classificació de les respostes de cada estudiant segons les tipologies d'explicació a la pregunta del qüestionari i el nombre d'alumnes que es troben dins de cadascuna d'aquestes categories. A l'*annex 2* es poden trobar totes les respostes dels alumnes a la pregunta del qüestionari, transcrits de les seves produccions escrites. Per tal de recuperar fàcilment les respostes dels estudiants, hem assignat a cadascuna d'elles un codi que comença per 4E o 2B, segons si la resposta és d'un estudiant de 4art d'ESO o de 2on de Batxillerat, i acaba per E#, que significa "estudiant nº #".

També a partir del total d'alumnes que han mostrat una tipologia d'explicació F o alguna altra tipologia que sigui combinació d'aquesta amb d'altres (F+P, F+P+EI, F+EI), hem establert cinc categories de significat per tal de classificar les conceptualitzacions de l'atenuació del so que els alumnes mostraven en les seves respostes. Aquestes categories són les següents:

Conceptualització 1 (C1): "L'atenuació del so com a oposició a la propagació del so a través del material"

Conceptualització 2 (C2): "L'atenuació del so produeix canvis en el so"

Conceptualització 3 (C3): "L'atenuació del so com a dificultat de transmissió del so"

Conceptualització 4 (C4): "L'atenuació del so com a absorció dins del material"

Conceptualització 5 (C5): "L'atenuació del so deguda a la reflexió i a l'absorció"

A l'*annex 4* es mostra la classificació de les respostes d'aquests estudiants segons el tipus de conceptualització que mostren de l'atenuació del so.

Posteriorment, vam analitzar les respostes dels alumnes que havien mostrat una tipologia d'explicació P, EI o alguna combinació d'aquestes (F+P, F+P+EI, F+EI), per tal d'identificar quines propietats associen als materials segons el seu comportament acústic. A partir de l'anàlisi de les respostes a la pregunta del qüestionari, hem pogut establir quines són les propietats acústiques que els alumnes assignen als materials, així com les relacions que estableixen entre aquestes propietats i el fenomen de l'atenuació de so. L'*annex 5* conté una taula amb totes les propietats que els alumnes atribueixen als

materials quan expliquen les diferències d'atenuació del so que produeixen. L'*annex 6* mostra els tipus de relacions que alguns d'aquests alumnes estableixen entre cadascuna de les propietats dels materials i l'atenuació del so que produeixen.

6.2. Resultats i discussió

Tipologies d'explicacions dels alumnes

La *taula 1* mostra les tipologies d'explicació dels estudiants a la pregunta del qüestionari. Aquestes tipologies corresponen a les categories de significat dels estudiants abans detallades (F, P, EI) o a alguna combinació de les mateixes.

Tipologia d'explicació		Nombre d'alumnes	% de la mostra
F	Fenomen de l'atenuació del so	5	7
P	Descripció dels materials en termes de les seves propietats a nivell macroscòpic	31	41
F + P	Relació entre el fenomen de l'atenuació del so i les propietats dels materials	28	37
F + EI	Relació entre el fenomen de l'atenuació del so i l'estructura interna dels materials	3	4
P + EI	Descripció dels materials en termes de les propietats i de l'estructura interna	1	1
F + P + EI	Relació entre el fenomen de l'atenuació del so, les propietats i l'estructura interna dels materials	4	5
No respon		4	5
TOTAL		76	100

Taula 1. Tipologies d'explicació dels estudiants a la pregunta del qüestionari

Dels 76 alumnes que han participat en aquesta recerca, pràcticament tots (excepte quatre) van escriure alguna explicació del comportament acústic dels materials, és a dir, van inventar algun model.

Cinc alumnes (7% de la mostra) han elaborat la seva resposta a la pregunta del qüestionari **únicament en termes del fenomen de l'atenuació del so** (Tipologia d'explicació **F**). És a dir, han explicat el fet que uns materials atenuïn més el so que altres només descrivint el comportament acústic d'aquests materials quan l'ona sonora interacciona amb ells, però no han explicat possibles diferències entre aquests materials.

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè no permeten passar les ones sonores” (4EE2)

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè l'energia que es transmet en els sons a través de les partícules hi ha materials que la deixen passar més que els altres” (2BE7)

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè absorbeixen millor les oscil·lacions de l'aire” (2BE9)

La majoria dels alumnes (31/76, 41% de la mostra) han explicat aquestes diferències d'atenuació del so **únicament en termes de les propietats o característiques dels materials** (Tipologia d'explicació **P**). És a dir, els alumnes han mencionat diverses propietats del material a nivell macroscòpic que el caracteritzen com a un material que atenua més o menys el so.

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè són més gruixuts” (4EE3)

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè són menys porosos” (2BE43)

“Penso que els bons aïllants han de ser materials sòlids, compactes i densos, com ara els metalls [...] Els absorbents han de ser sòlids porosos i molt diferents dels aïllants” (2BE56)

Un 37% dels estudiants (28/76) ha donat una explicació **en termes del fenomen de l'atenuació del so i de les propietats dels materials** (Tipologia d'explicació **F + P**). Aquests alumnes han explicat les diferències d'atenuació produïdes per diferents materials en funció de les propietats d'aquests, al mateix temps que han explicat què entenen per atenuació del so. La majoria d'aquests alumnes han establert algun tipus de relació entre aquestes propietats del material i el fenomen de l'atenuació del so.

“ [...] Els més porosos seran els més aïllants ja que el fet que l'ona trobi obstacles fa que perdi energia, per tant que perdi intensitat el so” (2BE4)

“[El material que atenua més el so que altres] és més dens, i no és molt porós, així que fa que les ones sonores xoquin” (2BE31)

“Perquè hi ha materials molt prims i sense porositats, això causa que el so hi passi sense cap problema” (2BE40)

Els alumnes que expliquen les diferències d'atenuació del so de diferents materials en termes de l'estructura interna dels mateixos (a nivell microscòpic) són una minoria. Només 3 alumnes (4% de la mostra) han explicat l'atenuació del so **relacionant el propi fenomen amb l'estructura interna dels materials** (Tipologia d'explicació **F + EI**). Aquests alumnes han interpretat el comportament acústic dels materials en termes de la separació entre les seves partícules.

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè les partícules estan més separades i la vibració es transmet pitjor que amb un material on les partícules siguin molt juntes” (2BE1)

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè alguns tenen les seves partícules més comprimides llavors les partícules d'aire no poden passar en canvi si estan més separades i deixen passar l'aire, també passaran les vibracions i llavors podem escoltar els sons” (2BE36)

Només un alumne ha interpretat les diferències d'atenuació del so entre els materials **en termes de les seves propietats i de la seva estructura interna** *ahora* (Tipologia d'explicació **P + EI** al gràfic 1).

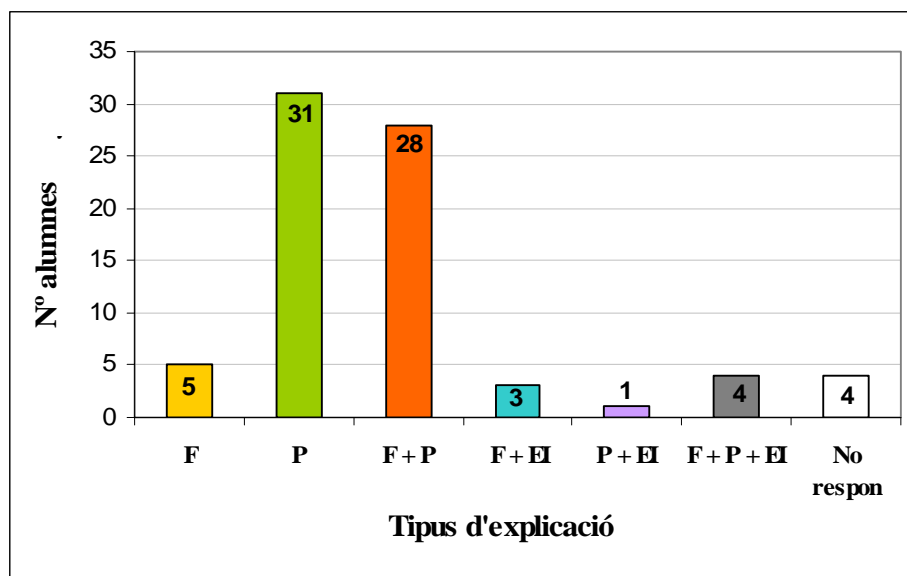
“[Uns materials atenuen més el so que altres] degut a la seva composició i disposició de les partícules que els formen” (2BE16)

Finalment, dels 76 alumnes que formen la població d'aquest estudi, només 4 alumnes (5% de la mostra) han elaborat la seva resposta a la pregunta del qüestionari **en termes de les propietats dels materials, interpretant aquestes a nivell microscòpic i relacionant-les amb els fenòmens que succeeixen durant l'atenuació del so** (Tipologia d'explicació **F + P + EI**).

“Depèn de la densitat i la porositat d'un material, aïlla més o menys el so. Si un cos és més dens, les partícules estan més unides i per tant transmet millor el so que un poc dens. Si un cos té més porositats aïlla molt més el so pels canvis de medi” (2BE19)

“Com més dens és un material menys vibració permet en les seves partícules, i per tant més dificultat presenta a l'hora de transmetre el so” (2BE25)

El gràfic 1 mostra el nombre d'alumnes que han respost a la pregunta del qüestionari en funció de la tipologia d'explicació que han elaborat per respondre-la.



Gràfic 1. Tipologies d'explicació elaborades pels alumnes com a resposta al qüestionari

En resum, 40/76 estudiants han explicat les diferències d'atenuació del so produïdes per diferents materials donant idea de què entenen pel fenomen de l'atenuació del so (Tipologies d'explicació F i combinacions d'aquesta). 64/76 alumnes han interpretat aquestes diferències en termes de les diferents propietats dels materials, descrivint macroscòpicament les mateixes i, en alguns casos, establint relacions entre aquestes propietats i el comportament acústic dels materials (Tipologies d'explicació P i combinacions d'aquesta). Només 8/76 alumnes han utilitzat un model microscòpic per tal de respondre a la pregunta del qüestionari sobre per què uns materials atenuen més el

so que altres. La majoria d'aquests alumnes han establert algun tipus de relació entre l'estructura interna dels materials i el seu comportament acústic (Tipologies d'explicació que inclouen la categoria EI).

Resultats de les idees dels estudiants sobre l'atenuació del so

Considerem ara totes les respostes dels alumnes que han explicat les diferències d'atenuació del so produïdes per diferents materials en termes de la interacció del so amb el material, és a dir, explicant el que entenen per atenuació del so (Tipologia d'explicació F o combinacions d'aquesta). De les 40 respostes dels alumnes que han expressat la seva idea d'atenuació del so, hem pogut identificar diferents maneres de conceptualitzar aquest fenomen. A continuació, es mostren les diferents conceptualitzacions sobre atenuació del so explicitades pels estudiants. Per elaborar aquestes conceptualitzacions utilitzem fragments de les respostes d'aquests estudiants com a unitats de significat.

Conceptualització 1: “L'atenuació del so com a oposició a la propagació del so a través del material”

“Les propietats físiques dels materials deixen traspasar més o menys ones. En aquest cas, els materials que són més aïllants, reflecteixen més les ones” (2BE10)

“Suposo que uns materials són més aïllants que uns altres perquè segons la seva composició química s'oposen més o menys a la propagació del so” (2BE14)

“Depenent el material, hi hauran més capes que d'altres que afectaran en la propagació de les ones” (2BE22)

Aquesta conceptualització sobre l'atenuació del so és la predominant. Dels 40 alumnes que han expressat la seva idea sobre l'atenuació del so, 15 alumnes han mostrat aquest tipus de conceptualització. Aquesta idea està basada en una noció de resistència al pas del so. En general, aquest tipus de conceptualització implica que l'atenuació és deguda únicament a la reflexió de les ones sonores, però no considera l'absorció de part de l'energia de l'ona sonora dins del material. Aquesta idea implica que l'atenuació del so té lloc únicament a les superfícies de separació entre medis, ja sigui a la superfície d'un material, com en les irregularitats o canvis de medi dins del mateix.

Conceptualització 2: “L'atenuació del so produeix canvis en el so”

“Pot ser que molts materials tinguin capes que fan que les ones al xocar amb aquestes capes es neutralitzin i deixin de vibrar” (4EE8)

“[...] el fet que l'ona trobi obstacles fa que perdi energia, per tant que perdi intensitat el so” (2BE4)

“D'acord amb l'experiment que hem fet el [material] que ha resultat més eficaç per atenuar el soroll ha estat la llana de vidre, jo crec que ha estat per una banda perquè és més compacte i per altre perquè és rugós i això fa que trenqui l'ona de so” (2BE55)

Dels 40 alumnes que han expressat la seva idea sobre l'atenuació del so, 6 alumnes han mostrat aquest tipus de conceptualització. Aquesta es fonamenta en la idea de que quan les ones sonores interaccionen amb un material pateixen alguns canvis. El principal canvi que identifiquen aquests alumnes és una disminució de l'energia que té associada l'ona sonora. Dels 6 alumnes que han mostrat aquest tipus de conceptualització en les seves respostes, quatre han explicat l'atenuació del so en termes d'energia, associant per tant el fenomen de l'atenuació del so amb un procés de “transformació o pèrdua” de l'energia de l'ona sonora. Els altres 2 alumnes han explicat l'atenuació com a “neutralització” i com a “trencament” de les ones sonores.

Conceptualització 3: “L'atenuació del so com a dificultat de transmissió del so”

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè tenen menys matèria que els altres i sense matèria el so no es pot desplaçar” (4EE13)

“Com més dens és un material menys vibració permet en les seves partícules, i per tant més dificultat presenta a l'hora de transmetre el so” (2BE25)

Dels 40 alumnes que han expressat la seva idea sobre l'atenuació del so, cinc han mostrat aquest tipus de conceptualització. Aquesta expressa la idea de que l'atenuació del so consisteix en que el so es propaga amb més dificultat (o més lentament) a través d'un material. Aquesta conceptualització sembla fonamentar-se en la idea subjacent de que el so necessita un medi per propagar-se. Des del punt de vista científic, diem que el so es transmet quan la vibració de les partícules del medi es propaga al llarg del mateix sense desplaçament de matèria. Això implica que el so no es pot propagar en el buit o, en altres paraules, el so no existeix en el buit perquè no hi ha partícules que puguin vibrar i transmetre aquesta pertorbació a altres.

Malgrat que aquest tipus de conceptualització es fonamenta en un model conceptual de so més coherent amb el model científic, presenta algunes limitacions:

En primer lloc, algunes de les respostes que mostren aquest tipus d'idea suggereixen que els alumnes entenen l'atenuació del so com deguda a l'absència o a la poca quantitat de partícules en el medi, la qual cosa no es compleix en cap material. És a dir, per analogia amb el que succeeix en el buit, alguns alumnes consideren que l'atenuació del so és deguda a que hi ha poca quantitat de matèria (o de partícules) dins d'un medi material.

En segon lloc, algunes d'aquestes respostes evidencien la creença de que diferents materials poden tenir diferències notables en la separació de les seves partícules. Segons Linder (1993), els estudiants generalment consideren que la separació entre partícules afecta a la velocitat de propagació del so de manera que “com més petita és la distància intermolecular, més ràpid viatja el so a través d'aquest material” ja que les molècules del material han de desplaçar-se per tal de transferir el so a la següent molècula. Podem interpretar que alguns dels alumnes han conceptualitzat l'atenuació del so com a dificultat de propagació / transmissió del so, entenent aquesta com a disminució de la velocitat de propagació del so a través d'un medi. La següent resposta il·lustra aquest tipus d'idea:

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè les partícules estan més separades i la vibració es transmet pitjor que amb un material on les partícules siguin molt juntes” (2BE1)

Conceptualització 4: “L’atenuació del so com a absorció dins del material”

“Alguns materials absorbeixen la vibració de l’aire més fàcilment que d’altres perquè tenen petites càmeres d’aire” (2BE8)

Aquest tipus de conceptualització dels estudiants implica que el so entra dins del material i és atenuat dins. 6 alumnes dels 40 que han expressat la seva concepció sobre l’atenuació del so, han mostrat aquest tipus de conceptualització. Els alumnes solen identificar aquest fenomen amb el nom d’absorció. No obstant, aquests alumnes no expliquen cap mecanisme d’absorció. L’absorció és explicada per la majoria d’aquests alumnes en termes de so que entra dins d’un material i no torna a sortir. Aquesta conceptualització no inclou la reflexió com a mecanisme per evitar la propagació de les ones sonores. Les següents respostes mostren també aquest tipus de conceptualització, tot i que no utilitzen el terme absorció:

“Doncs, quan una caixa està folrada amb algun material s’agafa més el so, és a dir, que s’escolta menys [...]” (4EE14)

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè en el seu interior hi succeeixen fenòmens (com que el so s’escampa o queda entre els porus) que fan que bona part del so no traspassi a l’altra banda” (2BE44)

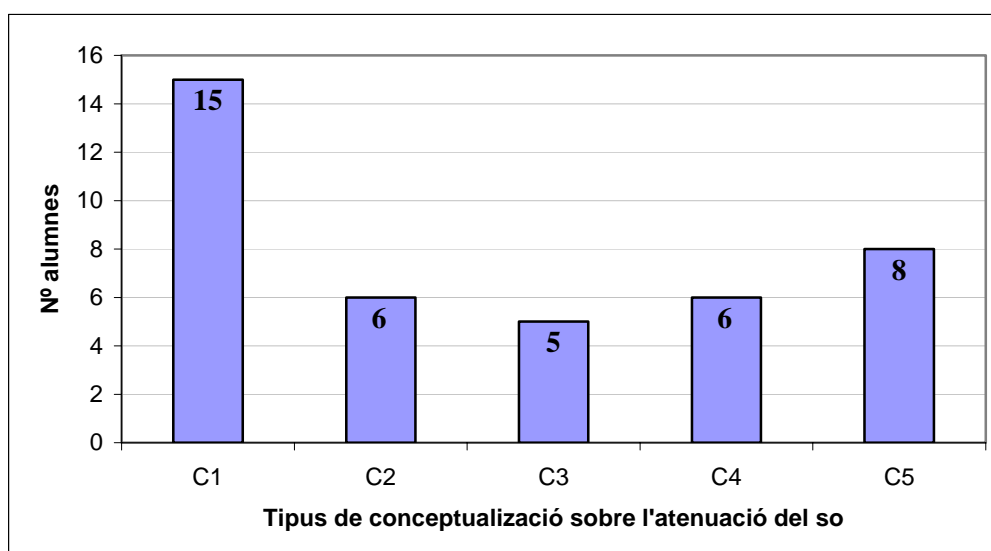
Conceptualització 5: “L’atenuació del so deguda a la reflexió i a l’absorció”

“Alguns materials porosos tenen porus que absorbeixen el so, d’altres no en tenen i fan de reflectants [...]” (2BE35)

“Si la superfície [d’un material] és molt polida el reflecteixen molt bé [el so] i si és una estructura poc densa amb molts espais entre partícules l’absorbeix molt bé” (2BE52)

Aquesta conceptualització indica una noció de que l’atenuació pot ser deguda tant a la reflexió del so per part del material com a l’absorció del so dins del mateix. Vuit alumnes dels 40 que han expressat la seva idea sobre l’atenuació del so, han mostrat aquest tipus de conceptualització. En general, aquests alumnes atribueixen diferents característiques i propietats als materials segons el seu comportament acústic, és a dir, segons si reflecteixen el so o l’absorbeixen.

El gràfic 2 mostra el nombre d’alumnes que han respost a la pregunta del qüestionari explicant què entenen per atenuació del so en funció del tipus de la conceptualització que han mostrat en les seves respostes sobre aquest fenomen.



Gràfic 2. Tipus de conceptualització sobre l'atenuació del so mostrada pels alumnes en les seves respostes a la pregunta del qüestionari

En resum, la majoria dels alumnes (15/40) que han explicat què entenen per atenuació del so en la seva resposta al qüestionari han mostrat un tipus de conceptualització que implica que aquest fenomen és el resultat de l'oposició que fa un material a la transmissió o propagació del so (*conceptualització 1*). La següent conceptualització més predominant (8/40) és la *conceptualització 5*, que reconeix que l'atenuació pot ser deguda tant a la reflexió com a l'absorció. A part d'aquests dos tipus de conceptualització, hem pogut identificar altres tres concepcions dels alumnes sobre l'atenuació del so (*conceptualització 2, 3 i 4*).

Resultats sobre les idees prèvies dels estudiants entorn de les propietats dels materials segons el seu comportament acústic

Considerem ara totes les respostes dels alumnes que han explicat les diferències d'atenuació del so produïdes per diferents materials en termes de les propietats dels materials i/o de l'estructura interna dels mateixos a nivell microscòpic (Tipologia d'explicació **P** o **EI** o combinacions d'aquestes). A partir d'aquestes respostes dels alumnes que han associat unes determinades característiques dels materials amb el seu comportament acústic, hem pogut classificar aquestes propietats i el tipus de relació que estableixen els estudiants entre aquestes i el fenomen de l'atenuació del so. La *taula 2* mostra les propietats explicades pels estudiants.

Propietats	Nombre d'alumnes
Gruix	5
Densitat	24
Capes de material	7
Porositat	30
Quantitat de material	6
Separació entre partícules	6
Tipus de material o composició	9
Forma o superfície	3
Disposició de les partícules	1

Compactació o condensació	9
Estructura o constitució	4
Conductivitat acústica / capacitat d'atenuació	4
Dur / Tou	2
Plasticitat	1
Propietats en general	5

Taula 2. Propietats dels materials identificades pels estudiants com a variables que afecten a l'atenuació del so

Com mostra la *taula 2*, la majoria dels alumnes de la població d'aquest estudi han explicat les diferències d'atenuació del so produïdes pels materials com degudes a una diversitat de propietats. Només nou alumnes dels 76 de la mostra no han mencionat cap propietat (a nivell macroscòpic o microscòpic) dels materials a l'hora d'explicar les diferències d'atenuació del so que aquests produeixen. Dels altres 67 alumnes:

- 5 alumnes consideren que les diferències d'atenuació del so entre diferents materials depenen del **gruix** del material. D'aquests cinc alumnes, dos alumnes han explicat que el tipus de relació que consideren que existeix entre el gruix i l'atenuació del so és de proporcionalitat directa, és a dir, *“com més gruix presenta l'objecte material, més atenua el so”*.

“Uns materials atenuen més el so que altres] perquè són més gruixuts” (4EE11)

- 24 alumnes consideren que la **densitat** també és una característica dels materials que afecta al seu comportament acústic, és a dir, influeix en com atenuen el so. D'aquests 24 alumnes, la meitat ha expressat algun tipus de relació entre la densitat del material i l'atenuació del so produïda. La majoria (10) d'aquests alumnes consideren que com més dens és un material més atenua el so:

“[Uns materials atenuen més el so que altres] perquè són més densos i absorbeixen el so [...]” (2BE15)

“Els materials que poden aturar més el so són els més densos [...]” (2BE18)

“Com més dens és un material menys vibració permet en les seves partícules, i per tant més dificultat presenta a l'hora de transmetre el so” (2BE25)

No obstant, alguns alumnes (2) han considerat que els materials més densos no atenuen molt el so sinó que el transmeten amb més facilitat. Aquest tipus de relació suggereix que aquests alumnes conceptualitzen la propietat densitat a nivell microscòpic en termes de la separació entre partícules.

“[...] Si un cos és més dens, les partícules estan més unides i per tant transmet millor el so que un poc dens [...]” (2BE19)

- 6 alumnes relacionen la **quantitat de matèria** amb l'atenuació del so. Interpretem que els alumnes que consideren aquesta variable es refereixen al gruix del material o a la densitat del mateix, o fins i tot, al nombre de partícules per unitat de volum, tot i que no mencionen aquestes característiques explícitament.

“Quan hi ha més matèria no traspassa el so” (4EE12)

- 30 alumnes mencionen la **porositat** com altra de les variables que afecten al fenomen d’atenuació del so quan aquest interacciona amb els materials i, per tant, com una de les propietats dels materials que atenuen el so. D’aquests 30 alumnes, 20 intenten explicar el tipus de relació que existeix entre l’atenuació del so i la porositat dels materials:

“Els [materials] més porosos seran els més aïllants ja que el fet que l’ona trobi obstacles fa que perdi energia, per tant, que perdi intensitat el so” (2BE4)

“Els materials més porosos poden aturar més el so [ja que] provoquen que hi hagi més canvis de medi i l’ona gastí més energia en travessar-los” (2BE18)

“Com més porós sigui un material més atenuarà el so. Intercalarà capes de material i d’aire, i en cada capa es reflexa més part de so que es transforma en energia [...]” (2BE21)

Com es pot apreciar a les respostes dels alumnes, la majoria d’aquests alumnes (15) identifiquen la porositat com una propietat que fa que els materials atenuïn més el so (per reflexió o per absorció). No obstant, hi ha alguns alumnes que consideren que la porositat permet que el so es transmeti més fàcilment, no pas que sigui atenuat.

“El material més dens, i no molt porós, fa que les ones sonores xoquin” (2BE31)

“Atenuen més els que són menys porosos” (2BE47)

- 9 alumnes han utilitzat el terme “**compacte**” o “**condensat**” com a característica dels materials que atenuen més el so. Aquesta característica sembla estar relacionada amb la quantitat de matèria (o nombre de partícules per unitat de volum) dels materials o amb la densitat.

“[...] el [material] que ha resultat més eficaç per atenuar el soroll ha estat [...] el més compacte i rugós [...] això fa que trenqui l’ona de so” (2BE55)

- Altres propietats menys freqüents que els alumnes han considerat que influeixen en l’atenuació del so són la **forma** de la superfície (llisa/rugosa), la **duresa** o la **plasticitat** d’un material, entre d’altres.

- 7 alumnes han considerat l’**estructura interna** dels materials (separació entre partícules, disposició de les mateixes) a l’hora d’explicar per què uns materials atenuen més el so que altres.

“[Un materials atenuen més el so que altres] perquè les partícules estan més separades i la vibració es transmet pitjor que amb un material on les partícules siguin molt juntes” (2BE1)

“Si la partícules [d’un cos] estan més unides per tant [el cos] transmet millor el so” (2BE19)

- 4 alumnes han assignat una certa capacitat d'atenuació del so als materials, com a propietat intrínseca a aquests materials.

“[Un materials atenuen més el so que altres] perquè són capaços de rebotar el so, aïllant-lo així de l'exterior o perquè són capaços d'absorbir-lo, aïllant-lo també” (2BE48)

En resum, la majoria dels alumnes han identificat diverses propietats que associen als materials quan han d'explicar les diferències d'atenuació del so produïdes per diferents materials. La majoria d'aquests alumnes descriuen les propietats que poden percebre sensorialment. Només alguns alumnes interpreten el diferent comportament acústic dels materials segons l'estructura interna dels mateixos.

Tipus de relacions entre les propietats dels materials i el fenomen de l'atenuació del so

D'entre tots els estudiants que van explicar que uns materials atenuen més que d'altres en termes de les seves propietats i/o la seva estructura interna explicitant a més la seva concepció sobre el fenomen de l'atenuació del so, alguns estudiants van expressar el tipus de relació que consideraven entre les propietats dels materials i l'atenuació del so.

Aquestes respostes suggereixen que cadascuna de les propietats abans esmentada no influeix la capacitat d'atenuar el so dels materials sempre de la mateixa manera. És a dir, per alguns alumnes el fet que un material presenti una determinada propietat o sigui d'una determinada manera el fa un bon material per atenuar el so. Per altres alumnes, la mateixa propietat fa que el material tingui el comportament oposat.

Per exemple, en el cas de la densitat, podem trobar aquesta dualitat de concepcions:

“Si un cos és més dens, les partícules estan més unides i per tant transmet millor el so que un poc dens” (2BE19)

“El material més dens [...] fa que les ones sonores xoquin” (2BE31)

“[...] si és una estructura poc densa amb molts espais entre partícules l'absorbeix molt bé” (2BE52)

Mentre la segona resposta mostra el tipus de relació predominant (“com més dens és el material, més atenuació del so produeix”), la primera i la tercera suggereixen una relació diferent segons la qual “com menys dens sigui el material, més atenuarà el so”. Cadascuna d'aquestes respostes ha estat categoritzada anteriorment segons la concepció que mostren sobre l'atenuació del so. Les respostes d'aquests alumnes impliquen concepcions de l'atenuació del so diferents. La primera resposta mostra la idea de que l'atenuació del so consisteix en la facilitat o dificultat de transmissió del mateix (C3). La segona resposta ha estat categoritzada com la concepció de l'atenuació del so predominant (C1) segons la qual l'atenuació del so consisteix en obstaculitzar el pas del so. En canvi, l'última d'aquestes respostes suggereix que l'estudiant considera que el so pot ser atenuat a l'interior del material (C4). A més, aquesta última resposta suggereix que l'alumne utilitza el model “entitat” de so descrit per Hrepic et al. (2002), és a dir, conceptualitza el so com una entitat o substància que és independent del medi a través

del qual es propaga i que passa a través d'espais buits entre les partícules d'aquest medi (filtrant-se).

Trobem exemples similars en el cas d'altres propietats, com la porositat:

“Com més porós sigui un material més atenuarà el so. Intercalarà més capes de material i d'aire, i en cada capa es reflecteix més part de so que es transforma en energia [...]” (2BE21)

“El material és més dens, i no és molt porós, així que fa que les ones sonores xoquin” (2BE31)

Mentre el primer alumne considera que “com més porós és un material, més atenua el so”, el segon mostra justament la concepció oposada. De la mateixa manera, la primera d'aquestes respostes ha estat considerada una evidència del tipus de concepció 2 sobre l'atenuació del so, segons la qual el so s'atenua quan “canvia o es transforma”. En canvi, la segona resposta mostra la concepció de què l'atenuació del so és produïda perquè el material s'oposa a la propagació del mateix (C1).

Per tant, diferents estudiants consideren que la mateixa propietat d'un material influeix de manera diferent en el seu comportament acústic segons el que entenen per atenuació del so.

Aquesta diversitat de respostes també sembla ser influenciada per com conceptualitzen els estudiants les propietats dels materials en sí mateixes. Per exemple, alguns alumnes consideren que “com més dens és un material, més juntes estan les seves partícules” mentre que altres alumnes simplifiquen la relació entre porositat i densitat considerant que “si un material és poc dens, és molt porós”.

7. Conclusions, prospectiva i implicacions didàctiques

7.1. Conclusions

L'anàlisi de les respostes dels estudiants que expliquen per què uns materials resulten atenuar més el so que altres ha mostrat que estudiants, que no han rebut un ensenyament previ sobre atenuació del so ni sobre propietats acústiques dels materials però que han realitzat una sèrie de mesures experimentals del nivell d'intensitat sonora utilitzant un sonòmetre i cobrint una font sonora amb diferents materials, s'han construït algun model per explicar el fenomen de l'atenuació del so.

Aquests models sobre atenuació del so dels estudiants són diversos i es fonamenten en les seves concepcions sobre la naturalesa i la propagació del so. Les respostes dels estudiants suggereixen que la majoria d'ells sosté la idea de que els materials que atenuen el so es comporten com una barrera pel so evitant el seu pas (conceptualització 1 de l'atenuació del so) i, per tant, consideren que l'atenuació del so té lloc únicament en les superfícies de separació entre medis. Aquest tipus de conceptualització podria implicar una idea subjacent de que el so és una entitat física que pot travessar o no un material depenent de les característiques del mateix. Aquesta idea correspon a la concepció comuna anteriorment descrita com el model "entitat o substància" del so (Hrepic *et al.* 2002).

A part d'aquest tipus de conceptualització, els alumnes també expliquen l'atenuació del so en termes de la facilitat o dificultat de transmissió del so a través d'un material o en termes de l'absorció del so a l'interior del mateix. Pocs estudiants reconeixen que l'atenuació del so consisteix en un procés de transferència d'energia d'un medi a un altre o, en altres termes, de dissipació de l'energia que porta associada l'ona sonora incident en un material.

En quant a les propietats que els estudiants assignen als materials segons el seu comportament acústic, aquest estudi mostra que els alumnes identifiquen diverses propietats o característiques dels materials tant a nivell macroscòpic com a nivell microscòpic basant-se en les seves concepcions sobre l'atenuació del so. És a dir, els alumnes consideren unes o altres propietats dels materials que atenuen el so depenent de què entenen per atenuació del so. D'aquesta manera, la majoria dels alumnes que consideren que l'atenuació consisteix en l'oposició al pas del so a través del material han considerat que aquest ha de ser dens i poc porós, entre d'altres característiques.

Algunes de les respostes dels alumnes que van descriure el tipus de relació que consideren entre les propietats dels materials i la seva estructura interna suggereixen una comprensió feble o una simplificació del significat de les propietats considerades. Així, per exemple, són freqüents les respostes en les quals es considera que "com més dens és un material, més juntes estan les seves partícules" (Linder 1993).

És possible que una comprensió profunda de la naturalesa i propagació del so pugui modificar algunes aplicacions inadequades de la idea d'atenuació. Algunes qüestions que haurien de ser tractades en una seqüència d'activitats d'ensenyament i aprenentatge sobre l'atenuació del so són el significat de "més o menys fàcil" en el context de la propagació del so, i el model microscòpic amb el qual els alumnes interpreten propietats

dels materials com la densitat o la porositat, entre d'altres. És evident que els estudiants tenen algunes idees sobre l'atenuació del so. No obstant, els alumnes no sempre apliquen aquestes idees adequadament. L'atenuació, així com la naturalesa i la propagació del so, són conceptes molt més difícils pels estudiants que el que generalment s'assumeix. És important que els alumnes distingeixin clarament entre propagació i atenuació. Els estudiants necessiten entendre clarament quines idees pertanyen a quin fenomen.

En resum, aquest estudi ha mostrat que l'atenuació del so és un concepte sobre el qual els estudiants tenen idees intuïtives que apliquen en el context dels materials utilitzats per diferents aplicacions relacionades amb l'acústica. La majoria d'estudiants de la mostra arriba a la classe de ciències amb la idea de que els materials que atenuen el so es comporten com una barrera acústica, oposant resistència a la transmissió del so i, per tant, considera que els materials que atenuen més el so tenen unes determinades propietats que els fan comportar-se enfront el so d'aquesta manera.

7.2. Prospectiva

Com diuen Saura i De Pro (1999, p.194), *“conèixer les idees prèvies dels estudiants no és un fi en sí mateix sinó un punt de partida cap a una intervenció intencionada, el que és realment substancial no és identificar-les sinó saber per què s'originen i com es poden treballar per provocar o afavorir l'aprenentatge dels alumnes”*.

En efecte, la recerca actual suggereix que no és apropiat assumir simplement que el fet de ser conscients de les idees prèvies dels alumnes transforma l'educació científica. A la classe de ciències són múltiples els factors que influeixen l'aprenentatge dels alumnes: l'important paper dels professors, així com de materials especialment dissenyats, estructurats i seqüenciats per crear les condicions per un aprenentatge significatiu, entre d'altres.

La recerca entorn de les concepcions dels estudiants sobre l'atenuació del so és un tema de recerca constructiu pel treball al llarg de la línia sobre raonament i aprenentatge dels estudiants entorn del so, ensenyament d'aquest tema, disseny de seqüències d'ensenyament i aprenentatge sobre atenuació del so, etc. Examinar el raonament sobre el qual els estudiants sostenen la idea d'atenuació del so pot promoure una millor manera de dirigir aquesta àrea al currículum. Un estudi d'aquest tipus pot ser el primer pas per aclarir la confusió entorn d'aquest concepte que no forma part del currículum actual i que ens sembla un tema interessant des del punt de vista científic i significatiu pels alumnes.

En qualsevol cas, aquest treball ens ha suggerit molts interrogants: Quines altres concepcions sobre el fenomen de l'atenuació del so tenen els alumnes d'aquests nivells educatius? Com s'han format? Com es poden modificar i/o ampliar de forma significativa? L'aplicació del concepte de l'atenuació del so en un context real, com podria ser la insonorització d'un recinte, seria un estudi molt interessant per la recerca futura i podria ser utilitzada per desenvolupar la part del currículum que tracta del so.

7.3. Implicacions didàctiques

Què ens diuen aquests resultats sobre l'ensenyament i aprenentatge d'aquest tema?

Els resultats obtinguts en aquest estudi ens aporten diverses implicacions didàctiques i ens suggereixen determinades línies d'acció. En primer lloc, els resultats indiquen la importància de que abans de promoure que els estudiants elaborin un model acurat de material aïllant o absorbent acústic que relacioni l'atenuació del so amb les propietats o estructura interna dels materials, necessiten construir un model que expliqui/justifiqui com es comporten els materials enfront al so i com l'atenuen. A més, els estudiants també necessiten una comprensió acurada del què signifiquen cadascuna de les propietats dels materials tant a nivell macroscòpic com a nivell microscòpic.

Com que el concepte d'atenuació del so requereix a més uns fonaments fermes sobre el concepte de so, és per tant necessari millorar la comprensió dels estudiants entorn de la naturalesa i propagació del so per tal de donar les bases perquè construeixin un model conceptual apropiat sobre l'atenuació del so.

En conclusió, aquest estudi de les concepcions dels estudiants ha il·luminat el procés de disseny d'una nova seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre propietats acústiques dels materials dins del context del projecte Materials Science, com un aspecte essencial a tenir en compte a l'hora d'estructurar la seqüència conceptual per tal de promoure la comprensió conceptual dels estudiants.

Aquest estudi ens ha ajudat a determinar la seqüència de models conceptuals que els alumnes haurien d'elaborar al llarg d'una unitat didàctica per explicar per què uns materials atenuen més el so que altres. Aquests models conceptuals són els següents:

Model 1: Model per explicar i predir com es comporten els materials enfront al so en termes de l'energia associada a l'ona sonora que interactua amb els materials. Explicació de l'atenuació del so en termes de l'energia incident, reflectida, absorbida i transmesa.

Model 2: Model per explicar i predir com es comporta el so i com és atenuat (per reflexió o absorció) segons les propietats físiques dels materials a nivell macroscòpic.

Model 3: Model per interpretar i predir, utilitzant un model de partícules de la matèria, com certes propietats dels materials (a nivell microscòpic) influeixen la seva capacitat d'atenuar el so.

Una altra implicació que podem derivar d'aquest estudi té relació amb les estratègies i propostes d'ensenyament sobre el tema de l'atenuació del so. Si bé la realització d'experiments com els que van portar a terme els estudiants que van participar a la sessió REVIR d'educació acústica, que proporcionen observacions empíriques als estudiants, poden ser efectius per proporcionar-los una primera aproximació a aquests conceptes o pot donar-los noves percepcions entorn d'aquestes qüestions, resulta evident la diversitat de models que els alumnes construeixen per tal d'explicar els fenòmens que observen. Tot i que els estudiants necessiten experimentar els fenòmens sobre els que estan aprenent, aquest estudi mostra que això no és suficient. Els

estudiants necessiten participar en activitats on tinguin una raó per discutir les seves idees.

Per tal que els alumnes siguin capaços d'elaborar un model que els permeti explicar i predir diversos fenòmens, no és suficient amb donar-los un conjunt d'idees que no parlen de la realitat tal com ells la coneixen; els estudiants han de ser conscients de “en quin punt es troben” perquè a través de l'ensenyament puguin arribar des d'allà fins a una comprensió d'allò que se'ls ensenya des de la ciència. La recerca aquí presentada ens ajuda a entendre des d'on parteixen els estudiants. Els estudiants inicialment poden tenir algunes idees correctes, encara que molt sovint no saben on és apropiat aplicar els seus coneixements. Començar amb les seves idees, per exemple d'atenuació, i incorporar aquestes idees en una seqüència d'activitats pot mostrar on els poden aplicar i on no.

Finalment, aquest estudi també ens ha permès fer ús detallat de les concepcions dels alumnes en el disseny de certes activitats de la seqüència sobre propietats acústiques dels materials (veure *annex 7* a mode d'exemple) per tal d'ajudar als estudiants a:

- Ser conscients i explorar les seves pròpies concepcions en col·laboració amb altres companys a la classe de ciències.
- Experimentar la necessitat de justificacions teòriques que els permetin argumentar les seves respostes d'una manera coherent i vàlida des del punt de vista científic.

8. Bibliografia

- ANDERSON, C. W. (2007). Perspectives on Science Learning. *Handbook of Research on Science Education*. En: S. K. Abell and N. G. Lederman, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Routledge Publishers. 3-30.
- BLISS, J. & OGBORN, J. (1979). L'anàlisi de dades qualitatives. *European Journal of Science Education*, **1** (4), 427-440. Traducció d'Emili Boix i Fuster.
- DUIT, R. & TREAGUST, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, **25** (6), 671-688.
- DUIT, R. (2006). La investigación sobre Enseñanza de las Ciencias: Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, **11** (30), 741-770.
- DUIT, R. (2007, a). *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education*. From http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/download_stcse.html
- DUIT, R. (2007, b). The Model of Educational Reconstruction. Presentació a la I Escola de Tardor de la xarxa REMIC.
- DUIT, R., NIEDDERER, H. & SCHECKER, H. (2007). Teaching Physics. *Handbook of Research on Science Education*. En: S. K. Abell and N. G. Lederman, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Routledge Publishers. 599-629.
- ESHACH, H., & SCHWARTZ, J. L. (2006). Sound stuff? Naive materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, **28** (7), 733-764.
- GLYNN, S. & DUIT, R. (1995). Learning Science Meaningfully: Constructing Conceptual Models. In S. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. New Jersey. 1-33.
- GORGORIÓ, N. (2006). Apunts de "La recerca en Didàctica de les Ciències i les Matemàtiques". Curs de doctorat en Didàctica de les Ciències i de les Matemàtiques.
- HERNÁNDEZ, M. I., PINTÓ, R. & COUSO, D. (2008). The use of findings from educational research in the design of a modelling and inquiry-oriented activity sequence on sound attenuation. Paper presentat en el congrés de la GIREP 2008. Nicosia, Xipre.
- HREPIC, Z., ZOLLMAN, D. & REBELLO, S. (2002). Identifying students' models of sound propagation. Paper presentat en la Conferència Physics Education Research. Boise ID.
- LEACH, J. & SCOTT, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, **38**, 115-142.
- LIJNSE, P. (1995). "Developmental Research" as a way to an empirically based "Didactical Structure" of Science. *Science Education*, **79** (2), 189-199.
- LIJNSE, P. (2006). Models of/for teaching modeling. Modelling in Physics and in Physics Education, University of Amsterdam, GIREP 2006 International Conference.

- LINDER, C. J. (1992). Understanding sound: so what is the problem? *Physics Education*, **27** (5), 258-264.
- LINDER, C. J. (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, **15** (6), 655-662.
- MAZENS, K. & LAUTREY, J. (2003). Conceptual change in physics: children's naive representations of sound. *Cognitive Development*, **18**, 159-176.
- MÉHEUT, M. & PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, **26** (5), 515-535.
- MORTIMER, E. & AMARAL, L. O. (2007). Conceptual profiles: a research program on teaching and learning scientific concepts. En: Izquierdo, M., Caamaño, A. & Quintanilla, M. (Eds). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona. 91-113.
- PINTÓ, R., COUSO, D. & ORO, J. (2006). A teaching approach about acoustics integrating different ICT and combining knowledge from different fields. *Proceedings of the 2006 GIREP Conference on Modelling in Physics and Physics Education*. Amsterdam, Holland.
- PINTÓ, R. & FELIU, V. (2006). Models i modelització. *Curs avançat de formació en l'ús de les TIC en l'ensenyament de les ciències C@UTICC*.
- SAURA, O. & DE PRO, A. (1999). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido?. *Enseñanza de las Ciencias*, **17** (2), 193-210.
- SCOTT, P., ASOKO, H. & LEACH, J. (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. *Handbook of Research on Science Education*. En: S. K. Abell and N. G. Lederman, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Routledge Publishers. 31-56.
- TREAGUST, D. F., JACOBOWITZ, R., GALLAGHER, J.L., PARKER, J. (2001). Using assessment as a guide in teaching for understanding: A case study of a middle school science class learning about sound. *Science Education*, **85** (2), 137-157.
- VINCE, J., TIBERGHIE, A. (2001). Modelling in teaching and learning elementary physics on sound. In D. Psillos, Kariotoglou, P., Tselves, V., Bisdikian, G., Fassouloupoulos, G., Hatzikraniotis, E., Kallery, M. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*. Vol. 1, 38-50. Thessaloniki, Greece.
- WITTMANN, M. C., STEINBERG, R. N., REDISH, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, **25** (8), 991-1013.

9. Annexos

ANNEX 1. Dossier de la sessió REVIR d'educació acústica



PROJECTE REVIR – *EDUCACIÓ ACÚSTICA*

MESUREM EL SOROLL I ANALITZEM AÏLLANTS

Nom de l'alumne: _____
Centre: _____
Grup: _____

CRECIM_ Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica
Universitat Autònoma de Barcelona
Bellaterra, març 2008

MESUREM EL SOROLL I ANALITZEM AÏLLANTS

TENIM UN PROBLEMA!

Som un grup de rock que assaja a l'àtic del nostre bloc de pisos. El fet és que ha vingut la policia municipal perquè uns veïns s'han queixat. Ens han dit que o deixem de fer tan soroll o bé hem de plegar els trastos i deixar d'assajar. Pensem com ho podem solucionar.



QUÈ NECESSITES PER SOLUCIONAR-HO?



Hauràs de buscar la forma de fer que la nostra música es senti menys. Què has de poder controlar doncs? Hauràs de saber què és el so que es sent i com el pots controlar. Bàsicament els sons o el soroll que produïm provenen de la nostra veu, dels instruments i dels amplificadors. Si vols controlar-ho et convé tenir algun aparell o dispositiu que et mesuri si el xivarri que feu és molt gran.

Abans de saber com fer aquests controls has de conèixer:

Apartat 1: Què és el so des del punt de vista de la Física?

Apartat 2: Visualitzar sons diversos:

Aprendre a visualitzar el so mitjançant l'ús d'un micròfon i del programa Audacity.

Visualitzar el so produït per la veu humana.

Visualitzar un soroll.

Visualitzar el so produït pels instruments musicals.

Apartat 3. Mesurar el nivell d'intensitat del so mitjançant l'ús d'un sonòmetre i de l'equipament Multilog.

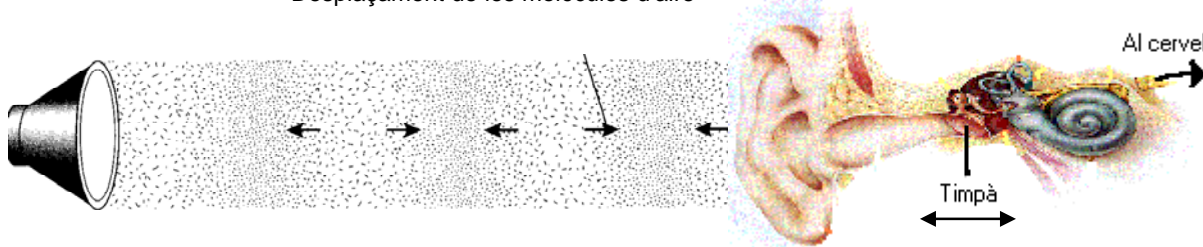
Això et permetrà trobar les millors maneres de reduir la intensitat dels sons que produïu i, per tant, no amoïnar el veïnat quan el grup de rock assaja.

Apartat 1. Què és el so?



L'altaveu vibra i nosaltres sentim la veu del cantant del nostre grup.

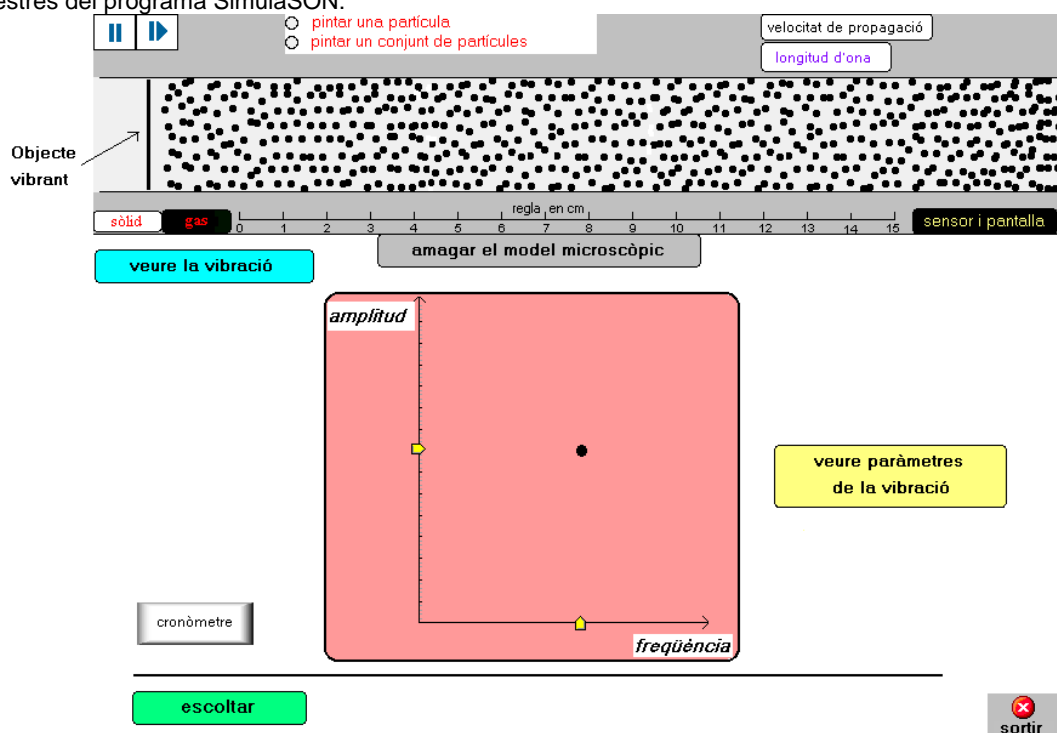
Desplaçament de les molècules d'aire



Al vibrar la membrana de l'altaveu, les partícules d'aire que hi ha al davant es veuen sotmeses a un seguit de compressions i enrariments. Aquestes compressions i enrariments es transmeten al llarg del medi fins que arriben al timpà i el fan vibrar. El cervell interpreta aquesta vibració com la veu del nostre cantant.

Per tant, quan parlem de so estem parlant d'una **pertorbació que es transmet al llarg d'un medi**. Aquesta pertorbació consisteix en una variació en la pressió de les partícules que formen l'aire. L'oïda humana és capaç de notar un canvi de pressió de 2.0×10^{-5} Pa (pascals) - la pressió normal de l'aire és d'uns 10^5 Pa. Això correspon a un desplaçament molt petit de l'aire, menor a 10^{-10} m, que és fins i tot menor que el diàmetre de les molècules que formen l'aire.

Ara et serviràs d'un programa de simulació per produir sons diferents i comparar-los. Observa les diferents finestres del programa SimulaSON:



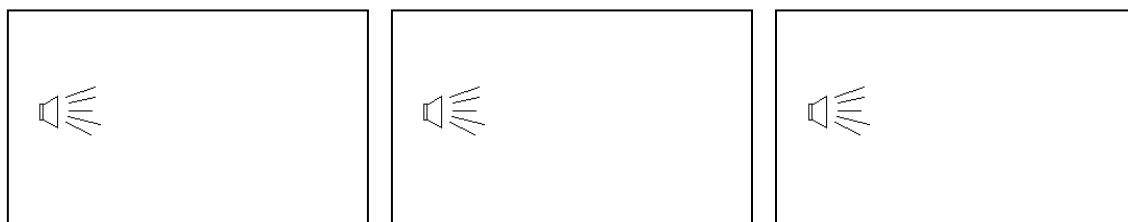
1. Fes clic sobre el botó “escoltar” per tal de sentir un so.
 2. Modifica els valors de la freqüència i de l'amplitud a la gràfica i compara els sons que perceps uns amb els altres.
- Nota: Pots prémer el botó “veure paràmetres de la vibració” per tenir dades numèriques de la freqüència i l'amplitud del so que escoltes.



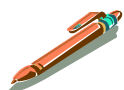
Quan augmentes l'amplitud, en què canvia el so que sents? I quan augmentes la freqüència?

3. Obre també la finestra de “vibració” per tal d'observar el moviment de vibració de l'emissor del so.

Imagina una font sonora (per exemple, uns altaveus) que emet un so que arriba a les nostres oïdes a través de l'aire. Dibuixa les partícules de l'aire en tres instants de temps diferents quan el so es propaga a través d'elles:



4. Fes clic sobre el botó “veure el model microscòpic”. Aquesta finestra representa el **moviment de les partícules del medi** (gas o sòlid) **a través del qual es propaga el so**.
- Nota: Pots seleccionar una partícula o un conjunt de partícules del medi per observar amb més claredat el moviment de les mateixes.
5. Modifica novament la freqüència i l'amplitud a la gràfica i observa com varia el moviment de les partícules del medi. Anota les teves observacions:



6. Finalment, obre la finestra “sensor i pantalla” i col·loca una de les rodones de color sobre un punt del medi. D'aquesta manera, podràs observar la representació gràfica de l'ona sonora. Aquesta gràfica mostra l'amplitud del moviment d'una partícula entorn de la seva posició d'equilibri en funció del temps.



Després del que has observat a la simulació, digues amb les teves paraules què és el so i com es propaga fins arribar a les nostres oïdes.

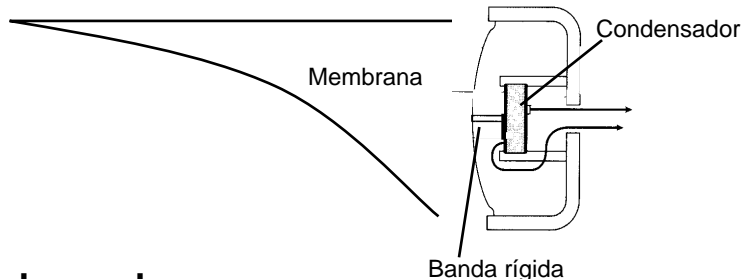
Apartat 2. Visualitzar diversos sons

Per estudiar el so ens convé muntar un dispositiu experimental adient.



L'element bàsic que utilitzaràs és el micròfon acoblat a l'ordinador i el software Audacity.

El **micròfon** és un aparell dissenyat per captar el so i transformar-lo en senyals elèctrics que posteriorment puguin ser interpretades en un programa editor o reproductor de so. El micròfon està format per una membrana (semblant al timpà de la nostra orella) que es mou cap endavant i cap enrere ràpidament degut a la variació de la pressió que exerceixen les partícules de l'aire.



Sons produïts per la veu humana

Anem a estudiar com és el so produït pel cantant del nostre grup, i en general, com és el so produït per la veu humana.



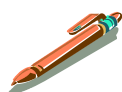
Les cordes vocals fan vibrar l'aire i aquest fa vibrar la membrana del micròfon, és a dir, la membrana del micròfon vibra degut als impulsos que rep de les partícules que formen l'aire. La pressió de l'aire que hi ha al davant de la membrana va augmentant i disminuint contínuament mentre arriba el so.

Visualitza gràficament la vocal A



Dibuixa com creus que serà el gràfic intensitat-temps quan pronunciem la vocal A de forma sostinguda.

Prediccions



Mesures



Procedeix a analitzar la vocal A amb l'equipament que tenim: micròfon i Audacity

Un membre del grup agafa el micròfon amb la mà i comença a dir la vocal A de forma sostinguda mentre un altre membre del grup inicia la recollida de les dades (mirar la pauta per saber el funcionament del programa Audacity).



Observa, dibuixa i compara



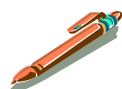
Quines semblances i diferències hi ha entre la predicció i les dades?

Visualitza altres vocals (A i I)



Repeteix el procediment gravant noves pistes d'àudio pronunciant diferents vocals i observa els aspectes iguals i diferents en la forma de les ones.

En les següents quadricules dibuixa la forma bàsica que es repeteix en les ones observades:



	Freqüència del so	Forma d'una vibració
vocal A (1)		
vocal A (2)		
vocal I (1)		
vocal I (2)		



Tenint present el que has sentit i el que has llegit a les gràfiques, pots dir que hi ha alguna relació entre la freqüència i el fet de que els sons siguin aguts o greus? Reflexiona i anota-ho:

Visualitza el soroll ambiental

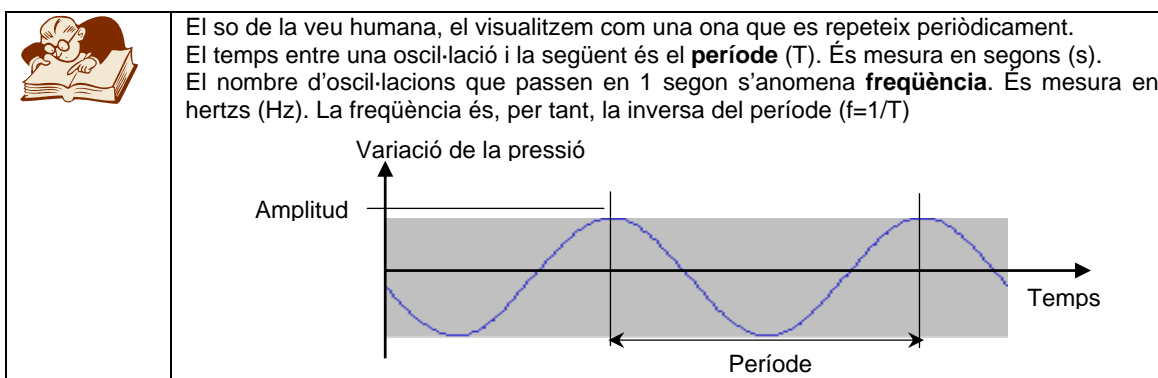


Anem ara a observar com queden representats de manera diferent el sons que acabem de produir i el soroll. Et sembla que obtindrem ones similars?



Deixa el micròfon sobre la taula i prem per iniciar la presa de dades. Al cap de 5 segons deixa de prendre mesures.

Quines diferències de forma hi ha entre aquesta gràfica i la que hem obtinguda pel cas de les vocals?



El gràfic ens mostra la variació de pressió que es produeix en la membrana del micròfon a mida que transcorre el temps



Quina freqüència i quin període tindrà una ona que faci 100 oscil·lacions en un segon?

Quina freqüència i quin període tindrà una ona que faci 1 oscil·lació en un segon?

Visualitzem sons corresponents a diferents instruments musicals reproduïts a partir d'arxius de so

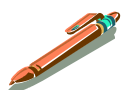
Quines diferències es poden observar en les ones sonores produïdes per diferents instruments?



Et sembla que l'ona del Do5 a la flauta dolça seria igual que l'ona del Do5 d'un piano o el Do5 d'una trompeta? I l'ona del Do4 i del Do5 d'un violí?



Pots comprovar-ho a partir dels arxius de Sons musicals que es troben a l'ordinador. Intenta visualitzar la forma de les ones produïdes per diferents instruments tocant la mateixa nota i pren les mesures dels intervals de temps. A continuació, visualitza les ones produïdes per un mateix instrument tocant diferents notes i escull, per exemple tres notes del piano.



Llegint els gràfics obtinguts a partir d'aquests arxius de so, omple les següents taules:

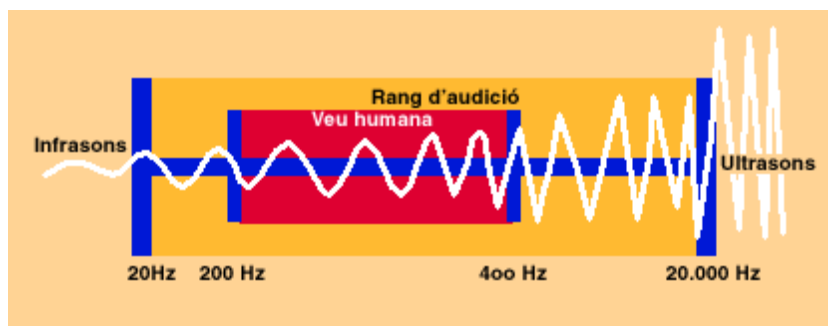
Instrument	Període (s) d'un Do5	Freqüència (Hz) d'un Do5

Instrument	Període (s) de la nota	Freqüència (Hz) de la Nota
Piano_Re4		
Piano_Mi4		
Piano_Fa4		



Quina conclusió en pots treure de comparar les tres freqüències? Les vibracions que visualitzes en la pantalla de l'ordinador, són semblants per tots tres instruments? I per les 3 notes?

Per què creus que pots identificar diferents instruments encara que donin la mateixa nota?



La nostra oïda només pot sentir sons amb freqüències des de 20 Hz fins a 20.000 Hz (sons amb freqüències superiors s'anomenen ultrasons, algunes espècies animals els poden percebre). Les freqüències que acostumem a usar per parlar es troben en el rang dels 200 Hz als 400 Hz.

Apartat 3. Mesurar el nivell d' intensitat del so



Per tal de mesurar el nivell de so que hi ha en un espai utilitzaràs uns altres dispositius: un sonòmetre i l'equipament Multilog (la consola Multilog i el software Multilab). Mesurarem com és el so produït pels amplificadors, però ara enlloc de centrar-nos en la freqüència del so que emeten ens fixarem en la **intensitat del so**.



El **sonòmetre** és un aparell encarregat de mesurar el nivell de la intensitat del so en decibels.

El seu funcionament intern és similar al del micròfon, es tracta doncs, també, d'una membrana que va endavant i enrere segons la pressió que exerceixen les partícules de l'aire, és a dir que vibra quan se li fa pressió. Com més intens és el so, més gran és la vibració de la membrana, més senyal elèctric produeix, i més gran és la lectura que ens dona l'aparell en dB.

La relació que hi ha entre el so o soroll que percebem, la variació de pressió que es produeix en les partícules que formen l'aire, i el valor que en mesura el sonòmetre es troba descrita en el següent requadre:

Escala d'intensitats en dB i en Pa del so		
So/soroll	Variació de la pressió (Pa)	Nivell sonor (dB)
Llindar de soroll audible Nivell absolut en un laboratori sota condicions especials (cambres anecoiques, sense eco)	2.0×10^{-5} Pa	0 dB
Silenci perfecte. Soroll de fons en una sala de gravació. Nivell excepcional en medis naturals (desert, camp nevat)	2.0×10^{-4} Pa	20 dB
El brunzit d'una nevera a 2m. Calma. Nivell admissible per al son. Nivell de soroll nocturn en zones residencials tranquil·les.	2.0×10^{-3} Pa	40 dB
Tetera bullint a 0,5m. Soroll de fons diürn en un barri tranquil d'una ciutat. Ambient tranquil.	6.3×10^{-3} Pa	50 dB
Conversa a veu normal. Carrer amb trànsit lleuger. Ambient poc sorollós.	2.0×10^{-2} Pa	60 dB
Aspiradora a 3m. Nivell de soroll dels centres comercials. Ambient sorollós.	6.3×10^{-2} Pa	70 dB
Soroll d'un camió pesat escoltat des de la vorera. Carrer amb trànsit molt intens. Ambient bastant intens.	6.3×10^{-1} Pa	90 dB
Taladre a 5m. Nivell molt sorollós. Nivell perillós per a l'audició a llarg termini.	2.0×10^0 Pa	100 dB
Tronada. A la discoteca, a 1m de l'altaveu. Risc molt greu per a una exposició prolongada.	2.0×10^1 Pa	120 dB
Avió envoltant-se a 100m. Llindar del dolor per soroll continuat.	6.3×10^1 Pa	130 dB
Avió envoltant-se a 50m. Castell de focs artificials i correfocs. Nivell molt perillós.	2.0×10^2 Pa	140 dB
Llançament d'un coet Saturn. Soroll absolutament insuportable.	2.0×10^5 Pa	200 dB

Mesurar el nivell de so

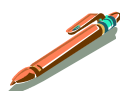
Per tal de saber el funcionament del sonòmetre i del programa Multilab llegeix prèviament la pauta.



Anem a aprendre a mesurar el nivell d'intensitat sonora d'un soroll reproduït a través dels altaveus.

Comprova que l'equipament, consola i sonòmetre, està llest per prendre mesures. Col·loca el sonòmetre sobre la taula, prop dels altaveus (Recorda col·locar-lo sempre en el mateix lloc per tal que les mesures siguin comparables).

- **Quin so?** Ara et cal agafar un so per mesurar. Escull l'arxiu de so *sorollblanc.mp3* de la carpeta de l'escriptori *Sons musicals*.
- **Escoltar:** Fes doble clic sobre l'arxiu de so. Se't obrirà el programa Windows Media Player. Posa'l en marxa (*Play*). Pels altaveus es reproduirà el soroll. Per aturar la reproducció de l'arxiu de so pitja *Stop*.
- **Mesurar:** Per mesurar el so has de posar en marxa el sonòmetre de manera que reculli el so que surt dels altaveus. Cal prémer el botó *Executar* del programa Multilab



Amb el gràfic obtingut omple la següent taula. Si el nivell sonor varia, has de decidir com ho fas per escollir un valor representatiu.

Soroll blanc	Nivell sonor mitjà (dB)

Analitzar com millor reduir la intensitat sonora que produïm



Amb tot el que has après, ara ja pots idear com atenuar el so que surt de l'altaveu. Així podràs aconseguir el nostre objectiu, saber com disminuir la intensitat sonora produïda en el nostre local.

Per a que el nostre grup de rock no molesti al veïnat, caldrà idear maneres per a que el soroll arribi ben atenuat.

En el laboratori, cal aconseguir que el sonòmetre mesuri ben poc soroll del que surt per l'altaveu. Com te les has d'enginyar?

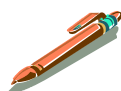
Idear



Cal que pensis i decideixis els experiments que has de fer per disminuir la intensitat de l'ona sonora que arriba al sonòmetre. Pots fer totes les proves que consideris necessàries. Pots, per exemple, tapar l'altaveu utilitzant caixes sense folrar o folrades amb diferents materials: cartró, porexpan, llana de roca i llana de vidre. També pots pensar altres solucions. Pensa què convé modificar i què s'ha de mantenir invariable en totes les mesures que facis.

Muntar

Anota el què muntaràs i les proves que faràs per decidir la millor manera.



Mesurar

Utilitza l'equipament llest per prendre mesures. Fes les mesures del so per cada cas. Anota els diferents nivells de so que has obtingut en cada prova que has fet.



Material	Nivell sonor mitjà (dB)



Quina és la manera d'absorbir més el soroll? Què has hagut de muntar?

Amb quin material és possible atenuar més el soroll?

Conclusions

Amb l'anàlisi del so que has realitzat ja pots passar a resoldre el nostre problema. La policia ens exigeix que el nivell d'intensitat sonora del soroll produït sigui igual o inferior a 60 dB. Així doncs:

Amb quin material (o materials) folraríem el nostre local?



Folraríem sostre, parets i terra de la nostra sala d'assaig? Per quin llocs creus que es pot propagar el so per arribar a casa dels veïns?

Fins aquí el treball que havíem de realitzar. Ara ja podem continuar assajant perquè ja sabem com no molestar més als veïns

ANNEX 2. Transcripcions de les respostes dels alumnes a la pregunta del qüestionari

<i>Aventura una explicació de per què alguns dels materials resulten ser més absorbents del so que altres</i>	
CODI ALUMNE	RESPOSTES ALUMNES
4EE1	-----
4EE2	Perquè no permet passar les ones sonores
4EE3	Pel gruix
4EE4	Pel material i per el gruixut
4EE5	Pel gruix
4EE6	Depèn de la densitat de la matèria
4EE7	Per la densitat
4EE8	Pot ser que molts materials tinguin capes que fan que les ones al xocar amb aquestes capes es neutralitzin i deixin de vibrar
4EE9	Per la densitat de matèria de cada un d'ells
4EE10	Podria ser per la seva densitat
4EE11	Perquè són més gruixuts
4EE12	Quan hi ha més matèria no traspassa el so
4EE13	Perquè tenen menys matèria que els altres i sense matèria el so no es pot desplaçar
4EE14	Doncs, quan una caixa està folrada amb algun material s'agafa més el so, és a dir, que s'escolta menys. Contra més material dins menys s'escoltarà
4EE15	Quan hi ha més matèria el so no es pot desplaçar
4EE16	Depèn de la porositat del material i de la quantitat de matèria que hi ha
4EE17	-----
4EE18	Depèn de la porositat del material i de la quantitat que hi ha
2BE1	Perquè les partícules estan més separades i la vibració es transmet pitjor que amb un material on les partícules siguin molt juntes
2BE2	Perquè les partícules estan més separades i la vibració es transmet pitjor
2BE3	Per la seva constitució. La forma. Si són més porosos o menys. Més porosos més aïllants perden energia al haver-hi més canvis de medi
2BE4	Per la seva constitució. Els més porosos seran els més aïllants ja que el fet que l'ona trobi obstacles fa que perdi energia, per tant que perdi intensitat el so
2BE5	Si el material té una composició més densa, absorbeix més el soroll
2BE6	La seva composició, aïlla més del so
2BE7	Perquè l'energia que es transmet en els sons a través de les partícules hi ha materials que la deixen passar més que els altres
2BE8	Alguns materials absorbeixen la vibració de l'aire més fàcilment que d'altres perquè tenen petites càmeres d'aire
2BE9	Perquè absorbeixen millor les oscil·lacions de l'aire
2BE10	Les propietats físiques dels materials deixen traspasar més o menys ones. En aquest cas, els materials que són més aïllants,

	reflecteixen més les ones
2BE11	Perquè les característiques del material fan que sigui capaç d'absorbir més bé el soroll que els altres materials
2BE12	Perquè absorbeixen millor les vibracions
2BE13	Perquè hi ha materials que absorbeixen més la variació que altres
2BE14	Suposo que uns materials són més aïllants que uns altres perquè segons la seva composició química s'oposen més o menys a la propagació del so
2BE15	Perquè són més densos i absorbeixen el so, una té aire a dintre i l'altre no
2BE16	Per la seva composició i disposició de les partícules que els formen
2BE17	Per la seva composició
<i>Aventura una explicació de per què uns materials resulten atenuar més el so que altres</i>	
2BE18	Els materials poden aturar més el so que altres donat que són més densos i més porosos, provoquen que hi hagi més canvis de medi i l'ona gastí més energia en travessar-los
2BE19	Depèn de la densitat i la porositat d'un material, aïlla més o menys el so. Si un cos és més dens, les partícules estan més unides i per tant transmet millor el so que un poc dens. Si un cos té més porositat aïlla molt més el so pels canvis de medi
2BE20	Els materials poden oferir més resistència al pas d'ones a través seu, així com en la llum que no tots els materials n'absorbeixen la mateixa quantitat, un material pot tenir unes propietats per reflectir una ona sonora. Això pot ser degut a la composició química dels materials.
2BE21	Perquè com més porós sigui un material més atenuarà el so. Intercalarà més capes de material i d'aire, i en cada capa es reflecteix més part de so que es transforma en energia. També ha de ser un material dens perquè se'n podrà posar més en menys gruix
2BE22	Depenent el material, hi hauran més capes que d'altres que afectaran en la propagació de les ones
2BE23	Depèn de la densitat, les capes dels material i la compactació d'aquest
2BE24	Els materials densos atenuen més el so que els altres, i si a més són compostos, és a dir provoquen canvis de medi atenuen més
2BE25	Com més dens és un material menys vibració permet en les seves partícules, i per tant més dificultat presenta a l'hora de transmetre el so
2BE26	Perquè uns tenen més porus que altres, com també són més densos
2BE27	Per la seva porositat, és a dir, els materials estan més o menys compactes, llavors el so traspasa menys el material
2BE28	Per la seva densitat i la seva porositat, característiques que absorbeixen el so i l'aïllen
2BE29	Depèn sobretot del material i del condensat que estigui
2BE30	Perquè depèn si el material està més condensat, depèn del material i de la porositat d'aquest
2BE31	El material és més dens, i no és molt porós, així que fa que les ones

	sonores xoquin
2BE32	Al tenir càmeres d'aire o espais buits (porosos) atenuen més el so
2BE33	Això es deu a que el material pot tenir més o menys espais d'aire (porus) entre les seves fibres deixant així que passi el so
2BE34	La seva densitat, porositat i d'altres propietats determinen el nivell de conductivitat acústica del material, crec
2BE35	Alguns materials porosos tenen porus que absorbeixen el so, d'altres no en tenen i fan de reflectants. Això varia segons les diferents capes de material i també de lo juntes o separades que estan les partícules
2BE36	Perquè alguns tenen les seves partícules més comprimides llavors les partícules d'aire no poden passar en canvi si estan més separades i deixen passar l'aire, també passaran les vibracions i llavors podem escoltar els sons
2BE37	Els aïllants de material porós són més efectius ja que les cambres d'aire que tenen en el seu interior aïllen els sons molt
2BE38	El material que atenua més el so és el porexpan o aire
2BE39	Per les diferents capes, si té càmeres d'aire (porus) i de partícules
2BE40	Perquè hi ha materials molt primers i sense porositats, això causa que el so hi passi sense cap problema
2BE41	Perquè tenen una freqüència diferent
2BE42	Doncs, simplement n'hi ha materials que pel que estan formats, són capaços de fer que el so no es propagui més enllà del que tu vulguis, és a dir, estan fets de manera que eviten que les vibracions i els sons o sorolls no travessin o passin
2BE43	Perquè són menys porosos
2BE44	Perquè en el seu interior hi succeeixen fenòmens (com que el so s'escampa o queda entre els porus) que fan que bona part del so no traspassi a l'altra banda
2BE45	Degut a la seva constitució, ja que si es tracta d'un material porós (amb aire dins) resultarà molt més aïllant que un altre que no ho sigui
2BE46	Perquè absorbeixen més el soroll. Els que són més porosos i estan fets de fibres ... són bons aïllants
2BE47	Atenuen més els que són menys porosos
2BE48	Perquè són capaços de rebotar el so, aïllant-lo així de l'exterior o perquè són capaços d'absorbir-lo, aïllant-lo també
2BE49	Per la seva densitat i característiques
2BE50	Per la seva densitat o bé per la seva capacitat d'absorció o reflexió
2BE51	Per la densitat
2BE52	Si la superfície és molt polida el reflecteixen molt bé i si és una estructura poc densa amb molts espais entre partícules l'absorbeix molt bé
2BE53	Jo crec que el fet que uns materials atenuïn més el so que els altres pot ser degut a la densitat del material i la quantitat d'aire que puguin tenir a dins. Per tant depèn de que els materials siguin compactes o no
2BE54	Segons l'experiment que hem fet, el que més silenciava el soroll era el més compacte i el que menys silenciava era el que era menys

	compacte i tenia foradets
2BE55	D'acord amb l'experiment que hem fet el que ha resultat més eficaç per atenuar el soroll ha estat la llana de vidre, jo crec que ha estat per una banda perquè és més compacte i per altre perquè és rugós i això fa que trenqui l'ona de so
2BE56	Penso que els bons aïllants han de ser materials sòlids, compactes i densos, com ara els metalls; amb una estructura gegant potser. Els absorbents han de ser sòlids porosos i molt diferents dels aïllants
2BE57	Com més dens és un material, és a dir com menys porositats, més reflectirà, no deixarà passar gaire el so. Com més porós, el material serà més d'absorció, però s'haurà de buscar un equilibri entre un material totalment porós amb un no tant (com més tou millor)
2BE58	Alguns materials tenen una capacitat d'absorbir o de reflectir el so més gran. Això és degut a varis factors propis del material com la densitat, la plasticitat o la duresa. Els materials més plàstics o més tous absorbeixen més el so

ANNEX 3. Anàlisi per identificar tipologies d'explicacions dels estudiants en respondre a la pregunta del qüestionari

Codi alumne	F	P	EI	Suma F+P+EI
4EE1	0	0	0	0
4EE2	1	0	0	1
4EE3	0	1	0	1
4EE4	0	1	0	1
4EE5	0	1	0	1
4EE6	0	1	0	1
4EE7	0	1	0	1
4EE8	1	1	0	2
4EE9	0	1	0	1
4EE10	0	1	0	1
4EE11	0	1	0	1
4EE12	1	1	0	2
4EE13	1	1	0	2
4EE14	1	1	0	2
4EE15	1	1	0	2
4EE16	0	1	0	1
4EE17	0	0	0	0
4EE18	0	1	0	1
2BE1	1	0	1	2
2BE2	1	0	1	2
2BE3	1	1	0	2
2BE4	1	1	0	2
2BE5	0	1	0	1
2BE6	0	1	0	1
2BE7	1	0	0	1
2BE8	1	1	0	2
2BE9	1	0	0	1
2BE10	1	1	0	2
2BE11	0	1	0	1
2BE12	1	0	0	1
2BE13	1	0	0	1
2BE14	1	1	0	2
2BE15	0	1	0	1
2BE16	0	1	1	2
2BE17	0	1	0	1
2BE18	1	1	0	2
2BE19	1	1	1	3
2BE20	1	1	0	2
2BE21	1	1	0	2
2BE22	1	1	0	2
2BE23	0	1	0	1
2BE24	1	1	0	2
2BE25	1	1	1	3
2BE26	0	1	0	1
2BE27	1	1	0	2
2BE28	1	1	0	2
2BE29	0	1	0	1
2BE30	0	1	0	1
2BE31	1	1	0	2
2BE32	0	1	0	1

2BE33	1	1	0	2
2BE34	0	1	0	1
2BE35	1	1	1	3
2BE36	1	0	1	2
2BE37	0	1	0	1
2BE38	0	0	0	0
2BE39	0	1	0	1
2BE40	1	1	0	2
2BE41	0	0	0	0
2BE42	1	1	0	2
2BE43	0	1	0	1
2BE44	1	1	0	2
2BE45	0	1	0	1
2BE46	1	1	0	2
2BE47	0	1	0	1
2BE48	1	0	0	1
2BE49	0	1	0	1
2BE50	1	1	0	2
2BE51	0	1	0	1
2BE52	1	1	1	3
2BE53	0	1	0	1
2BE54	0	1	0	1
2BE55	1	1	0	2
2BE56	0	1	0	1
2BE57	1	1	0	2
2BE58	1	1	0	2
Nombre d'alumnes	40	63	8	
% de la mostra	53	83	11	

Taula 3. Tipologies d'explicació dels estudiants

F	5	P + EI	1
P	31	F + P + EI	4
F + P	28	No respon	4
F + EI	3		

Codi de colors per cada tipologia d'explicació i nombre d'alumnes que han respost al qüestionari segons cadascuna d'aquestes tipologies d'explicació

ANNEX 4. Classificació de les respostes dels estudiants segons les seves conceptualitzacions de l'atenuació del so

Codi alumne	F	C1	C2	C3	C4	C5
4EE1	0					
4EE2	1	x				
4EE3	0					
4EE4	0					
4EE5	0					
4EE6	0					
4EE7	0					
4EE8	1		x			
4EE9	0					
4EE10	0					
4EE11	0					
4EE12	1	x				
4EE13	1			x		
4EE14	1				x	
4EE15	1	x				
4EE16	0					
4EE17	0					
4EE18	0					
2BE1	1			x		
2BE2	1			x		
2BE3	1		x			
2BE4	1		x			
2BE5	0					
2BE6	0					
2BE7	1	x				
2BE8	1				x	
2BE9	1				x	
2BE10	1	x				
2BE11	0					
2BE12	1				x	
2BE13	1				x	
2BE14	1	x				
2BE15	0					
2BE16	0					
2BE17	0					
2BE18	1		x			
2BE19	1			x		
2BE20	1	x				
2BE21	1		x			
2BE22	1	x				
2BE23	0					
2BE24	1	x				
2BE25	1			x		
2BE26	0					
2BE27	1	x				
2BE28	1					x
2BE29	0					

2BE30	0					
2BE31	1	x				
2BE32	0					
2BE33	1	x				
2BE34	0					
2BE35	1					x
2BE36	1	x				
2BE37	0					
2BE38	0					
2BE39	0					
2BE40	1	x				
2BE41	0					
2BE42	1	x				
2BE43	0					
2BE44	1				x	
2BE45	0					
2BE46	1					x
2BE47	0					
2BE48	1					x
2BE49	0					
2BE50	1					x
2BE51	0					
2BE52	1					x
2BE53	0					
2BE54	0					
2BE55	1		x			
2BE56	0					
2BE57	1					x
2BE58	1					x
Nombre d'alumnes	40	15	6	5	6	8

Taula 4. Classificació de les respostes dels estudiants segons el tipus de conceptualització que mostren de l'atenuació del so

ANNEX 5. Classificació de les respostes dels estudiants segons les propietats i estructura interna dels materials que relacionen amb l'atenuació del so

<i>Codi alumne</i>	<i>Gruix</i>	<i>Densitat</i>	<i>Capes</i>	<i>Porositat</i>	<i>Quantitat de material</i>	<i>Separació entre partícules</i>	<i>Forma o superfície</i>	<i>Disposició partícules</i>
4EE1								
4EE2								
4EE3	x							
4EE4	x							
4EE5	x							
4EE6		x						
4EE7		x						
4EE8			x					
4EE9		x						
4EE10		x						
4EE11	x							
4EE12					x			
4EE13					x			
4EE14					x			
4EE15					x			
4EE16				x	x			
4EE17								
4EE18				x	x			
2BE1						x		
2BE2						x		
2BE3				x			x	
2BE4				x				
2BE5		x						
2BE6								
2BE7								
2BE8				x				
2BE9								
2BE10								
2BE11								
2BE12								
2BE13								
2BE14								
2BE15		x		x				
2BE16								x
2BE17								
2BE18		x		x				
2BE19		x		x		x		
2BE20								
2BE21		x	x	x				
2BE22			x					
2BE23		x	x					
2BE24		x	x					
2BE25		x						
2BE26		x		x				
2BE27				x				
2BE28		x		x				
2BE29								
2BE30				x				
2BE31		x		x				
2BE32				x				
2BE33				x				
2BE34		x		x				
2BE35			x	x		x		
2BE36						x		
2BE37				x				

2BE38								
2BE39			x	x				
2BE40	x			x				
2BE41								
2BE42								
2BE43				x				
2BE44				x				
2BE45				x				
2BE46				x				
2BE47				x				
2BE48								
2BE49		x						
2BE50		x						
2BE51		x						
2BE52		x				x	x	
2BE53		x		x				
2BE54				x				
2BE55							x	
2BE56		x		x				
2BE57		x		x				
2BE58		x						
Nombre d'alumnes	5	24	7	30	6	6	3	1

<i>Codi alumne</i>	<i>Tipus de material o Composició</i>	<i>Compactació o Condensació</i>	<i>Estructura o constitució</i>	<i>Conductivitat acústica del material</i>	<i>Dur / Tou</i>	<i>Plasticitat</i>	<i>General</i>
4EE1							
4EE2							
4EE3							
4EE4	x						
4EE5							
4EE6							
4EE7							
4EE8							
4EE9							
4EE10							
4EE11							
4EE12							
4EE13							
4EE14							
4EE15							
4EE16							
4EE17							
4EE18							
2BE1							
2BE2							
2BE3			x				
2BE4			x				
2BE5							
2BE6	x						
2BE7							
2BE8							
2BE9							
2BE10							x
2BE11							x
2BE12							
2BE13							
2BE14	x						
2BE15							

2BE16	x						
2BE17	x						
2BE18							
2BE19							
2BE20	x						x
2BE21		x					
2BE22							
2BE23		x					
2BE24							
2BE25							
2BE26							
2BE27		x					
2BE28							
2BE29	x	x					
2BE30	x	x					
2BE31							
2BE32							
2BE33							
2BE34				x			x
2BE35							
2BE36							
2BE37							
2BE38							
2BE39							
2BE40							
2BE41							
2BE42	x						
2BE43							
2BE44							
2BE45			x				
2BE46							
2BE47							
2BE48				x			
2BE49							x
2BE50				x			
2BE51							
2BE52							
2BE53		x					
2BE54		x					
2BE55		x					
2BE56		x	x				
2BE57					x		
2BE58				x	x	x	
Nombre d'alumnes	9	9	4	4	2	1	5

Taula 5. Classificació de les propietats i estructura interna que els alumnes assignen als materials segons el seu comportament acústic

ANNEX 6. Classificació de les respostes dels estudiants que han relacionat alguna propietat dels materials amb l'atenuació del so segons si la relació establerta és de proporcionalitat directa o inversa.

Propietats	Alumnes que han establert un tipus de relació directa + (propietat) → + (atenuació)		Alumnes que han establert un tipus de relació inversa - (propietat) → + (atenuació)	
	Codi alumne	Nº d'alumnes	Codi alumne	Nº d'alumnes
Gruix	4EE11 2BE40	2	-	0
Densitat	2BE5 2BE15 2BE18 2BE21 2BE24 2BE25 2BE26 2BE31 2BE56 2BE57	10	2BE19 2BE52	2
Capes	4EE8 2BE21 2BE22 2BE24	4	-	0
Porositat	2BE3 2BE4 2BE8 2BE18 2BE19 2BE21 2BE26 2BE32 2BE35 2BE37 2BE40 2BE45 2BE46 2BE56 2BE57	15	2BE31 2BE33 2BE43 2BE47 2BE54	5
Quantitat de material	4EE12 4EE14 4EE15	3	4EE13	1
Separació entre partícules	2BE1 2BE2 2BE19 2BE52	4	2BE36	1
Superfície llisa	2BE52	1	2BE55	1
Compactació o condensació	2BE21 2BE30 2BE54 2BE55 2BE56	5	-	0
Tou	2BE57 2BE58	2	-	0
Plàstic	2BE58	1	-	0

Taula 6. Tipus de relacions que els alumnes estableixen entre les propietats dels materials i l'atenuació del so produïda per aquests

ANNEX 7. Activitat d'exploració d'idees prèvies dels estudiants en la seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre propietats acústiques dels materials elaborada en el projecte Materials Science

Els alumnes d'un altre institut han mencionat algunes característiques que creuen que han de tenir els materials aïllants i absorbents. Què en penses del què diuen? Escriu a la següent taula si estàs d'acord o en desacord amb cada una de les afirmacions dels alumnes, justificant les teves respostes.

Respostes dels alumnes	Estic d'acord o en desacord?
1. "Les partícules dels materials absorbents estan més separades i la vibració es transmet pitjor que en un material on les partícules estan molt juntes."	
2. "Alguns materials són més absorbents que d'altres depenent de l'estructura interna, la superfície, etc."	
3. "Els materials més absorbents tenen poques partícules al seu interior ja que com menys partícules tinguin menys es podrà propagar el so."	
4. "Els materials absorbents tenen capes i aire a dins que fan que les ones, al xocar amb aquestes capes, perdin energia i deixin de vibrar."	
5. "Els materials més porosos seran els més aïllants ja que el fet que l'ona trobi obstacles fa que perdi energia, per tant, que perdi intensitat el so."	
6. "Si el material és més dens, aïlla més del soroll."	
7. "Uns materials són més aïllants que uns altres perquè, segons com siguin de durs o rígids, s'oposen més o menys a la propagació del so."	
8. "Els materials aïllants han de ser gruixuts."	

10. Índexs diversos

Gràfic 1. Tipologies d'explicació elaborades pels alumnes com a resposta al qüestionari	30
Gràfic 2. Tipus de conceptualització sobre l'atenuació del so mostrada pels alumnes en les seves respostes a la pregunta del qüestionari	34
Figura 1. Interacció entre el contingut científic i les concepcions dels estudiants en el disseny de seqüències d'ensenyament i aprenentatge (Duit 2007, b)	14
Figura 2. L'aprenentatge com a procés de modelització (Pintó & Feliu 2006).....	16
Taula 1. Tipologies d'explicació dels estudiants a la pregunta del qüestionari	28
Taula 2. Propietats dels materials identificades pels estudiants com a variables que afecten a l'atenuació del so	35
Taula 3. Tipologies d'explicació dels estudiants	60
Taula 4. Classificació de les respostes dels estudiants segons el tipus de conceptualització que mostren de l'atenuació del so	61
Taula 5. Classificació de les propietats i estructura interna que els alumnes assignen als materials segons el seu comportament acústic	64
Taula 6. Tipus de relacions que els alumnes estableixen entre les propietats dels materials i l'atenuació del so produïda per aquests	65